

JMondt_Job_1_of_1

Printed by HPS Server
for

EAST

Printer: cp4_3c03_gbfhptr

Date: 03/03/03

Time: 09:02:47

Document Listing

Document	Selected Pages	Page Range	Copies
US006066861	12	1 - 12	1
Total (1)	12	-	-



US006066861A

United States Patent [19]

Höhn et al.

[11] **Patent Number:** 6,066,861[45] **Date of Patent:** May 23, 2000[54] **WAVELENGTH-CONVERTING CASTING COMPOSITION AND ITS USE**

[75] **Inventors:** Klaus Höhn, Taufkirchen; Alexandra Debray, Regensburg; Peter Schlotter, Freiburg; Ralf Schmidt, Vörstetten; Jürgen Schneider, Kirchzarten, all of Germany

[73] **Assignee:** Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany

[21] **Appl. No.:** 09/082,205

[22] **Filed:** May 20, 1998

Related U.S. Application Data

[63] Continuation of application No. PCT/DE97/02139, Sep. 22, 1997.

[51] **Int. Cl.⁷** H01L 33/00; H01J 63/04; C09K 11/02

[52] **U.S. Cl.** 257/99; 257/98; 257/100; 313/486; 313/467; 252/301.6 P

[58] **Field of Search** 257/81, 89, 98, 257/99, 100; 313/486, 467, 468; 252/301.6 P, 301.4 R

[56] **References Cited****FOREIGN PATENT DOCUMENTS**

0039017B1	11/1981	European Pat. Off. .
2642465	3/1978	Germany .
3804293A1	8/1989	Germany .
9013615	1/1991	Germany .
7176794	7/1995	Japan .

Primary Examiner—Minh Loan Tran

Attorney, Agent, or Firm—Herbert L. Lerner; Laurence A. Greenberg; Werner H. Stemer

[57] **ABSTRACT**

The wavelength-converting casting composition is based on a transparent epoxy casting resin with a luminous substance admixed. The composition is used in an electroluminescent component having a body that emits ultraviolet, blue or green light. An inorganic luminous substance pigment powder with luminous substance pigments is dispersed in the transparent epoxy casting resin. The luminous substance is a phosphorous group of the general formula $A_3B_5X_{12}:M$, and the luminous substance pigments have particle sizes $<20 \mu m$ and a mean grain diameter $d_{50} < 5 \mu m$.

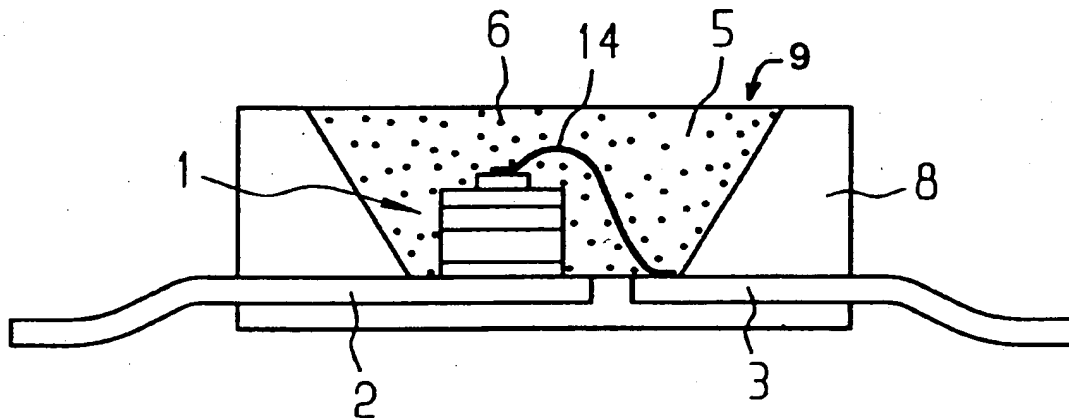
14 Claims, 4 Drawing Sheets

FIG 1

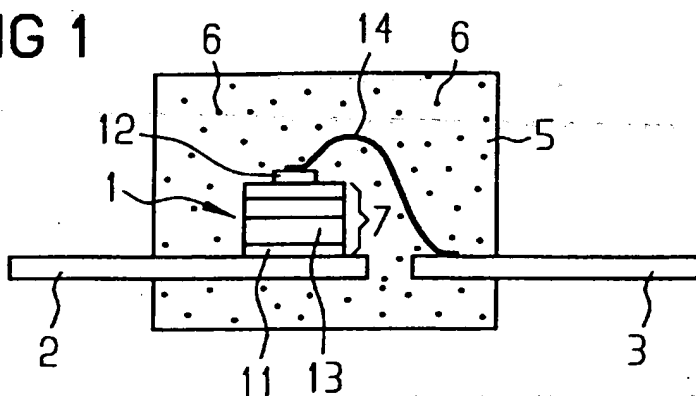


FIG 2

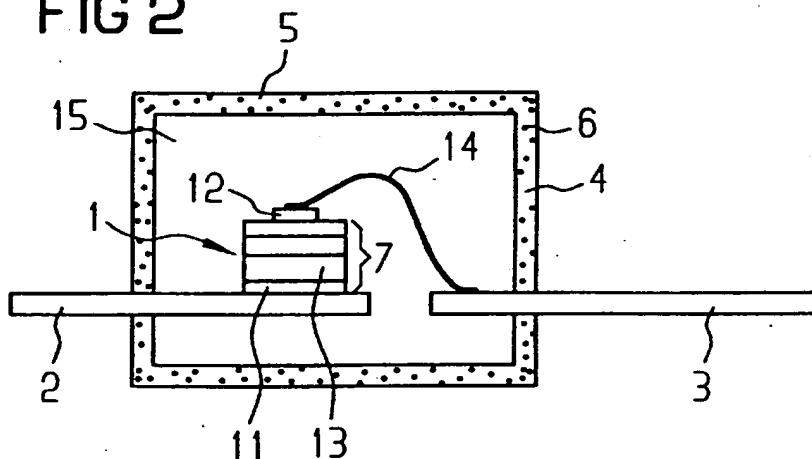


FIG 3

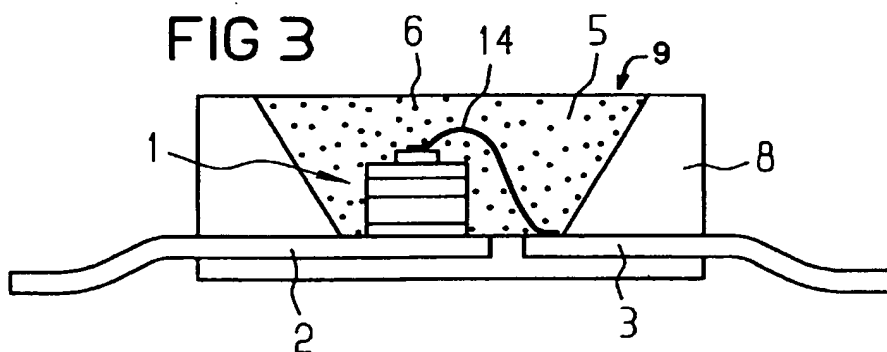


FIG 4

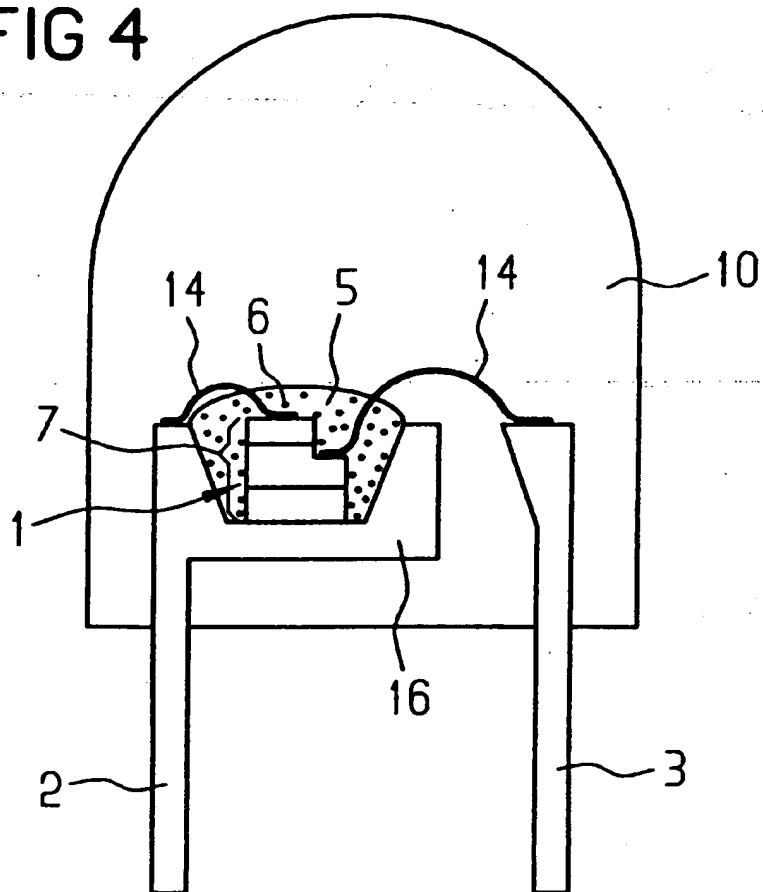
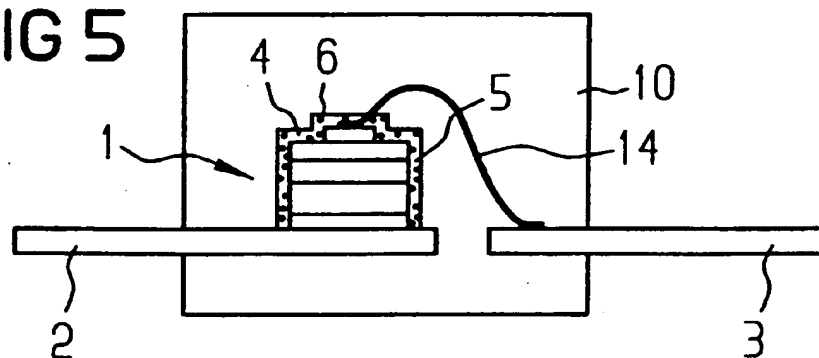
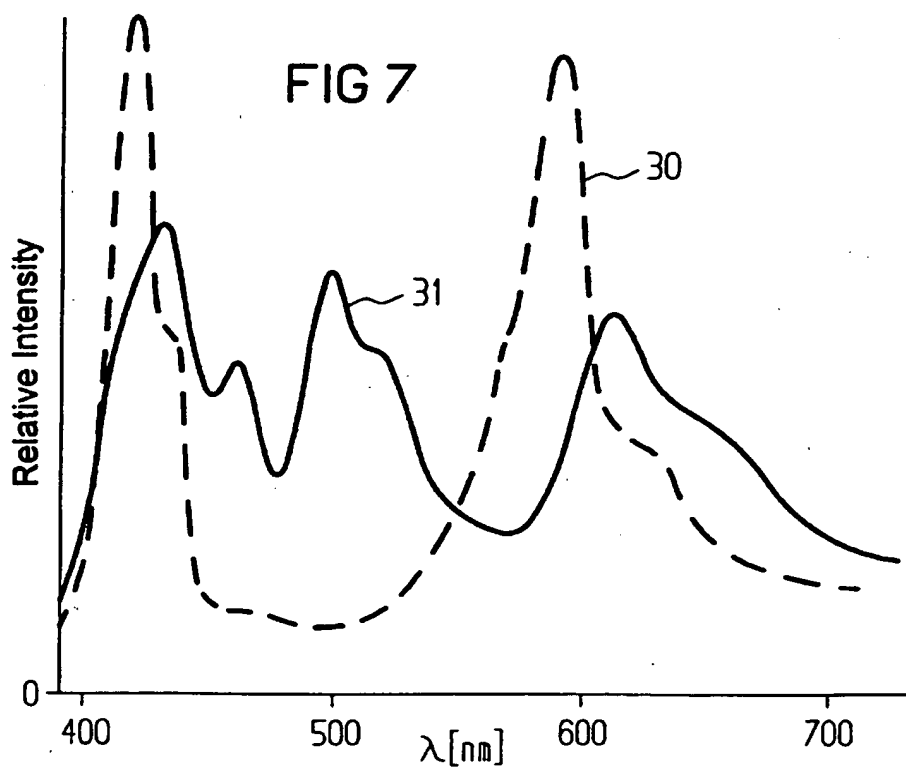
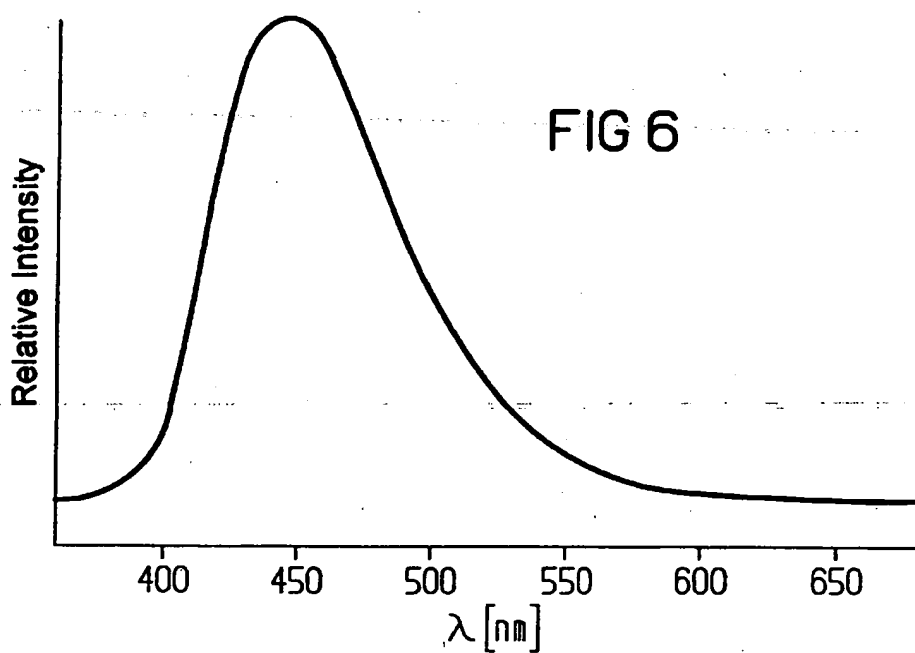
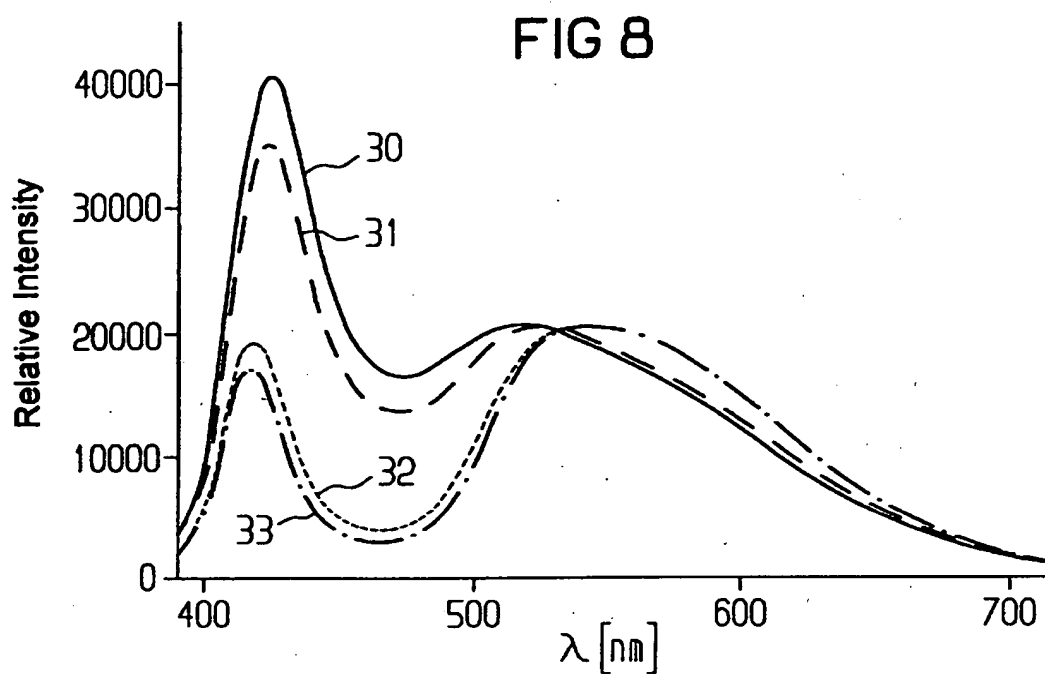


FIG 5







WAVELENGTH-CONVERTING CASTING COMPOSITION AND ITS USE

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATION

This is a continuation of copending international application PCT/DE97/02139, filed Sep. 22, 1997, which designated the United States.

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

The invention relates to a wavelength-converting casting composition based on a transparent epoxy casting resin which is mixed with a luminous substance, for an electroluminescent component having a body that emits ultraviolet, blue or green light.

2. Description of the Related Art

A component of that type has become known, for instance, from German published, non-prosecuted patent application DE 38 04 293. The reference describes an arrangement with an electroluminescent diode or laser diode, in which the emissions spectrum emitted by the diode is shifted toward longer wavelengths, by means of a plastic element mixed with a fluorescing, light-converting, organic colorant. The light emitted by the arrangement as a result has a different color from what the light emitting diode emitted. Depending on the type of colorant added to the plastic, it is possible to produce LED arrays that light up in different colors with one and the same type of light-emitting diode (LED).

In many potential applications for LEDs, such as in display elements in motor vehicle dashboards, illumination in aircraft and automobiles, and in LED displays capable of showing full color, there is an increasing demand for LED arrays with which mixed color light and in particular white light can be generated.

However, the prior art casting compositions of the type referred to at the outset with organic luminous substances exhibit a shift in the color location, that is, the color of the light emitted by the electroluminescent component, under temperature and temperature/humidity stresses.

Japanese patent disclosure JP-07 176 794-A describes a white-light-emitting planar light source, in which two diodes that emit blue light are disposed on one face end of a transparent plate and emit light into the transparent plate. The transparent plate is coated on one of the two opposed main sides with a fluorescing substance that emits light when it is excited with the blue light of the diodes. The light emitted by the fluorescing substance has a different wavelength from the blue light emitted by the diodes. In this known component, it is especially difficult to apply the fluorescing substance in such a way that the light source emits homogeneous white light. Moreover, replicability and mass production presents major problems, because even slight fluctuations in the layer thickness of the fluorescing layer, for instance from irregularities of the surface of the transparent plate, cause a change in the white of the light emitted.

SUMMARY OF THE INVENTION

It is accordingly an object of the invention to provide a wavelength-converting casting mass, which overcomes the above-mentioned disadvantages of the prior art devices and methods of this general type and with which electroluminescent components can be produced that emit homoge-

neous mixed-colored light, and which enables mass production at reasonable engineering effort and expense and with maximally replicable component characteristics. The emitted light should be color-stable even under temperature and temperature/humidity stresses. It is a further object to specify a use for the casting mass and a method for producing the composition.

With the foregoing and other objects in view there is provided, in accordance with the invention, a wavelength-converting casting composition, for converting a wavelength of ultraviolet, blue or green light emitted by an electroluminescent component, comprising:

a transparent epoxy casting resin;

an inorganic luminous substance pigment powder dispersed in the transparent epoxy resin, the pigment powder comprising luminous substance pigments from a phosphorus group having the general formula $A_3B_5X_{12}M$;

the luminous substance pigments having grain sizes $\leq 20 \mu m$ and a mean grain diameter $d_{50} \leq 5 \mu m$.

In accordance with an added feature of the invention, the mean grain diameter d_{50} of the luminous substance pigments is between one and two micrometers.

Inorganic/mineral luminous substances are extremely stable with regard to temperature and temperature/humidity stresses.

In accordance with an additional feature of the invention, the composition includes the following parts:

- a) epoxy casting resin $\geq 60\%$ by weight;
- b) luminous substance pigments > 0 and $\leq 25\%$ by weight;
- c) thixotropic agent > 0 and $\leq 10\%$ by weight;
- d) mineral diffusor > 0 and $\leq 10\%$ by weight;
- e) processing adjuvant > 0 and $\leq 3\%$ by weight;
- f) hydrophobic agent > 0 and $\leq 3\%$ by weight; and
- g) adhesion promoters > 0 and $\leq 2\%$ by weight.

Suitable epoxy casting resins are described for instance in German published, non-prosecuted patent application 26 42 465 (pp. 4-9, in particular examples 1-4), and in European patent disclosure EP 0 039 017 (pp. 2-5, in particular examples 1-8). The disclosures of those documents are hereby expressly incorporated by reference.

Pyrogenic silicic acid is for instance used as the thixotropic agent. The thixotropic agent is used to thicken the epoxy casting resin, so as to reduce the sedimentation of the luminous substance pigment powder. The flow and wetting properties are also adjusted for processing the casting resin.

CaF_2 is preferably used as a mineral diffusor for optimizing the luminous pattern of the component.

Glycol ether is for instance suitable as a processing adjuvant. It improves the compatibility between the epoxy casting resin and the luminous substance pigment powder and is thus used to stabilize the dispersion of luminous substance pigment powder and epoxy casting resin. To that end, surface modifiers based on silicone can also be employed.

The hydrophobic agent, such as liquid silicone wax, is also used to modify the pigment surface; in particular, the compatibility and wettability of the inorganic pigment surface is improved with the organic resin.

The adhesion promoter, such as functional alkoxysiloxane, improves the adhesion between the pigments and the epoxy resin in the cured state of the casting composition. As a result it is attained that the boundary face between the epoxy resin and the pigments will not rupture, for instance in response to temperature fluctuations. Gaps

between the epoxy resin and the pigments would cause light losses in the component.

The epoxy casting resin, preferably with a reactive triple oxiran ring, preferably includes a monofunctional and/or multifunctional epoxy casting resin system ($\geq 80\%$ by weight, such as bisphenol-A-diglycidyl ether), a reactive diluent ($\leq 10\%$ by weight, such as aromatic monoglycidyl ether), a multifunctional alcohol ($\leq 5\%$ by weight), a degassing agent based on silicone ($\leq 1\%$ by weight), and a decolorizing component to adjust the color number ($\leq 1\%$ by weight).

In accordance with another feature of the invention, the luminous substance pigments are substantially spherical particles or flakelike particles. The tendency to clumping of such pigments is advantageously very slight. The H_2O content is below 2%.

In the production and processing of epoxy casting resin components with inorganic luminous substance pigment powders, in general not only wetting but also sedimentation problems occur. Especially luminous substance pigment powders with $d_{50} \leq 5 \mu m$ have a strong tendency to clumping. In the last-named composition of the casting composition, the luminous substance pigments, with the above-indicated particle size, can advantageously be substantially free of clumps and can be dispersed homogeneously in the epoxy casting resin. This dispersion is stable even under long-term storage of the casting composition. Essentially no problems of wetting and/or sedimentation occur.

In accordance with a further feature of the invention, the luminous substance pigments are particles of Ce-doped garnets, such as, particularly, YAG:Ce particles. An advantageous dopant concentration is 1%, for example, and an advantageous luminous substance concentration is 12%, for example. The preferred high-purity luminous substance pigment powder also advantageously has an iron content of ≤ 5 ppm. A high iron content leads to high light losses in the component. The luminous substance pigment powder is highly abrasive. The iron content in the casting composition can therefore rise considerably during production. Iron contents in the casting composition < 20 ppm are advantageous.

The inorganic luminous substance YAG:Ce has the particular advantage, among others, that this involves insoluble color pigments with an index of refraction of approximately 1.84. As a result, along with the wavelength conversion, dispersion and scattering effects occur that lead to good mixing of blue diode emissions with yellow converter radiation.

It is also especially advantageous that the luminous substance concentration in the epoxy resin when inorganic luminous substance pigments are used is not limited by the solubility, as is the case for organic colorants.

For further reduction of clumping, the luminous substance pigments may advantageously be provided with a silicone coating.

With the above and other objects in view there is also provided, in accordance with the invention, a method of producing a wavelength-converting casting composition, for converting a wavelength of ultraviolet, blue or green light emitted by an electroluminescent component, the method which comprises:

- providing a base of transparent epoxy casting resin;
- providing a luminous substance pigment powder of luminous substance pigments from a phosphorus group having the general formula $A_3B_5X_{12}:M$;
- tempering the luminous substance pigment powder at a temperature of $\geq 200^\circ C.$ and subsequently mixing the tempered pigment powder with the epoxy casting resin.

Tempering is preferably effected for approximately ten hours. As a result, again the tendency to clumping can be reduced.

As an alternative or in addition for this purpose, the luminous substance pigment powder, before being mixed with the epoxy casting resin, can be slurried in a higher-boiling alcohol and subsequently dried. A further possibility for reducing clumping is to add a hydrophobic silicone wax to the luminous substance pigment powder before the powder is mixed with the epoxy casting resin. Surface stabilization of the phosphors by heating the pigments in the presence of glycol ethers, for instance for 16 hours at $T > 60^\circ C.$, is especially advantageous.

To avoid problematic contamination upon dispersal of the luminous substance pigments, caused by abrasion, reaction vessels, agitators and dispersing devices as well as rolling mechanisms of glass, corundum, carbide and nitride materials as well as especially hardened types of steel are used. Clump-free luminous substance dispersions are also obtained by ultrasonic methods or by the use of screens and glass ceramic frits.

An especially preferred inorganic luminous substance for producing optoelectronic components that light up white is the phosphorous YAG:Ce ($Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$). This phosphorous can be especially simply mixed with transparent epoxy casting resins conventionally used in LED technology. Also conceivable as luminous substances are other garnets, doped with rare earths, such as $Y_3Ga_5O_{12}:Ce^{3+}$, $Y(Al,Ga)_5O_{12}:Ce^{3+}$, and $Y(Al,Ga)_5O_{12}:Tb^{3+}$.

To generate mixed-colored light, the thiogallates doped with rare earths are moreover especially suitable, examples being $CaGa_2S_4:Ce^{3+}$ and $SrGa_2S_4:Ce^{3+}$. Once again, the use of aluminates doped with rare earths, such as $YAlO_3:Ce^{3+}$, $YGaO_3:Ce^{3+}$, $Y(Al,Ga)O_3:Ce^{3+}$, and orthosilicates doped with rare earths, $M_2SiO_5:Ce^{3+}$ ($M: Sc, Y, Sc$), such as $Y_2SiO_5:Ce^{3+}$ is conceivable. In all the yttrium compounds, the yttrium can in principle also be replaced with scandium or lanthanum.

Therefore, in the phosphorous group $A_3B_5X_{12}:M$, the variables may stand for the following exemplary elements: $A = Y, Ca, Sr$; $B = Al, Ga, Si$; $X = O, S$; and $M = Ce^{3+}, Tb^{3+}$.

Preferably, the casting composition according to the invention is used in a radiation-emitting semiconductor body, in particular with an active semiconductor layer or semiconductor layer sequence of $Ga_{1-x}In_xN$ or $Ga_{1-x}Al_xN$, which in operation emits an electromagnetic radiation of the ultraviolet, blue and/or green spectral range. The luminous substance particles in the casting composition convert some of the radiation originating in this spectral range into radiation with a longer wavelength, in such a way that the semiconductor component emits mixed radiation, and in particular mixed-colored light comprising this radiation as well as radiation from the ultraviolet, blue and/or green spectral range. This means for instance that the luminous substance particles spectrally selectively absorb some of the radiation emitted by the semiconductor body and emit in the longer-wave range. Preferably, the radiation emitted by the semiconductor body has a relative maximum intensity at a wavelength $\lambda \leq 520$ nm, and the wavelength range spectrally selectively absorbed by the luminous substance particles is outside this maximum intensity.

It is also advantageously possible for a plurality of different kinds of luminous substance particles, which emit at different wavelengths, to be dispersed in the casting composition. This is preferably achieved by means of different doping in different host lattices. This advantageously makes it possible to generate manifold color mixtures and

color temperatures of the light emitted by the component. This is especially of interest for LEDs capable of emitting full color.

In a preferred use of the casting composition of the invention, a radiation-emitting semiconductor body (such as an LED chip) is at least partly enclosed by the casting composition. The casting composition is preferably simultaneously used as a component envelope (housing). The advantage of a semiconductor component in accordance with this embodiment is essentially that conventional production lines used to make conventional LEDs (such as radial LEDs) can be used to produce it. For the component envelope, instead of the transparent plastic used for this purpose in conventional LEDs, the casting composition can simply be employed.

With the casting composition of the invention, it is possible in a simple way, with a single colored light source, particularly an LED with a single semiconductor body that emits blue light, to create mixed-colored and in particular white light. For instance to generate white light with a semiconductor body that emits blue light, some of the radiation emitted by the semiconductor body is converted out of the blue spectral range into the yellow spectral range, which is complementary in color to blue, by means of inorganic luminous substance particles.

The color temperature or color location of the white light can be varied by a suitable choice of the luminous substance, its particle size, and its concentration. In addition, luminous substance mixtures can also be employed, and as a result advantageously the desired tonality of the color of the emitted light can be adjusted very precisely.

Especially preferably, the casting composition is used in a radiation-emitting semiconductor body in which the emitted radiation spectrum has a maximum intensity at a wavelength between 420 nm and 460 nm, and in particular at 430 nm (examples being semiconductor bodies based on $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$) or 450 nm (such as semiconductor bodies based on $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$). With such a semiconductor component, nearly all the colors and mixed colors in the CIE chromaticity diagram can advantageously be generated.

Instead of the radiation-emitting semiconductor body of electroluminescing semiconductor material, however, some other electroluminescing material may be used, such as polymer material.

With the objects of the invention in view there is further provided, in accordance with the invention, a light-emitting semiconductor component, comprising:

a semiconductor body formed of a semiconductor layer sequence and being capable, during an operation of the semiconductor component, of emitting electromagnetic radiation in at least one of an ultraviolet, blue, and green spectral range;

a wavelength-converting casting composition disposed in a vicinity of the semiconductor body, the casting composition being formed of a transparent epoxy casting resin and an inorganic luminous substance pigment powder dispersed in the transparent epoxy resin, the pigment powder comprising luminous substance pigments from a phosphorus group having the general formula $\text{A}_3\text{B}_5\text{X}_{12}:\text{M}$ and having grain sizes $\leq 20 \mu\text{m}$ and a mean grain diameter $d_{50} \leq 5 \mu\text{m}$;

the luminous substance pigments converting a portion of the radiation originating from the ultraviolet, blue and green spectral range into radiation of a higher wavelength, such that the semiconductor component emits mixed radiation including the higher-wavelength radiation and radiation from at least one of the ultraviolet, blue and green spectral range.

In other words, the casting composition is especially suitable for a light-emitting semiconductor component (for instance an LED), in which the electroluminescing semiconductor body is disposed in a recess of a prefabricated housing, optionally already provided with a leadframe, and the recess is provided with the casting composition. This kind of semiconductor component can be produced in great numbers on conventional production lines. All that is needed, after mounting of the semiconductor body in the housing, is to fill the recess with the casting composition.

A semiconductor component that emits white light can be produced with the casting composition according to the invention advantageously by choosing the luminous substance in such a way that a blue radiation emitted by the semiconductor body is converted into complementary wavelength ranges, in particular blue and yellow, or additive color triads, such as blue, green and red. The yellow or green and red light is generated via the luminous substances. The color tonality (color location in the CIE chromaticity diagram) of the white light thus produced can then be varied by means of a suitable choice of the luminous substance or luminous substances in terms of their mixture and concentration.

To improve the mixing of the radiation emitted by an electroluminescing semiconductor body with the radiation converted by the luminous substance and thus to improve the homogeneity of color of the light emitted by the component, in an advantageous feature of the casting composition according to the invention a blue-luminescing colorant, which attenuates a so-called directional characteristic of the radiation emitted by the semiconductor body. The term "directional characteristic" is understood to mean that the radiation emitted by the semiconductor body has a preferential emission direction.

A semiconductor component according to the invention that emits white light, with an electroluminescing semiconductor body emitting blue light, can be especially preferably achieved by admixing the inorganic luminous substance $\text{YAG}:\text{Ce}$ ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$) with the epoxy resin used for the casting composition. Some of the blue radiation emitted by the semiconductor body is shifted by the inorganic luminous substance ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$) into the yellow spectral range and thus into a wavelength range that is complementary in color to the color blue. The color tonality (color location in the CIE chromaticity diagram) of the white light can then be varied by means of a suitable choice of the colorant concentration.

In addition, light-scattering particles, so-called diffusers, can be added to the casting composition. As a result, the color impression and the emission characteristics of the semiconductor component can advantageously be still further optimized.

With the casting composition of the invention, advantageously an ultraviolet radiation emitted by an electroluminescing semiconductor body along with the visible radiation can advantageously be converted into visible light. This markedly increases the brightness of the light emitted by the semiconductor body.

A particular advantage of semiconductor components according to the invention that emit white light, and in which $\text{YAG}:\text{Ce}$ is used in particular as the luminescence-converting colorant, is that this luminous substance on excitation with blue light causes a spectral shift of approximately 100 nm between absorption and emission. This leads to a substantial reduction and reabsorption of the light emitted by the luminous substance and thus to a higher light yield. Moreover, $\text{YAG}:\text{Ce}$ advantageously has high thermal and photochemical (such as UV) stability (substantially

higher than organic luminous substances) so that even white-emitting diodes for outdoor use and/or high temperature ranges can be produced.

YAG:Ce has by now proved itself to be the best-suitable luminous substance in terms of reabsorption, light yield, thermal and photochemical stability, and processability. However, the use of other Ce-doped phosphors, in particular Ce-doped types of garnet, is also conceivable.

The wavelength conversion of the primary radiation is determined by the crystal field cleavage of the active transition metal centers in the host lattice. By substituting Gd and/or Lu for Y, or Ga for Al in the $Y_3Al_5O_{12}$ garnet lattice, the emission wavelengths can be shifted in various ways, and this can also be done by the type of doping. By substituting Eu^{3+} and/or Cr^{3+} for Ce^{3+} centers, corresponding shifts can be brought about. Corresponding dopings with Nd^{3+} and Er^{3+} even make it possible, because of the greater ion radii and thus reduced crystal field cleavage, to make components that emit infrared (IR) light. Other features which are considered as characteristic for the invention are set forth in the appended claims.

Although the invention is illustrated and described herein as embodied in a wavelength-converting casting composition, its use, and method for its production, it is nevertheless not intended to be limited to the details shown, since various modifications and structural changes may be made therein without departing from the spirit of the invention and within the scope and range of equivalents of the claims.

The construction and method of operation of the invention, however, together with additional objects and advantages thereof will be best understood from the following description of specific embodiments when read in connection with the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a schematic sectional view of a first semiconductor component with a casting composition according to the invention;

FIG. 2 is a schematic sectional view of a second semiconductor component with a casting composition according to the invention;

FIG. 3 is a schematic sectional view of a third semiconductor component with a casting composition according to the invention;

FIG. 4 is a schematic sectional view of a fourth semiconductor component with a casting composition according to the invention;

FIG. 5 is a schematic sectional view of a fifth semiconductor component with a casting composition according to the invention;

FIG. 6 is a graph of an emission spectrum of a semiconductor body that emits blue light, with a layer sequence on the basis of GaN;

FIG. 7 is a graph of the emissions spectra of two semiconductor components with a casting composition according to the invention, which emit white light; and

FIG. 8 is a graph of the emissions spectra of further semiconductor components that emit white light.

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

Reference is now had to the figures of the drawing in which elements that are identical or that function identically are identified by the same reference numerals throughout. In

the light-emitting semiconductor component of FIG. 1, the semiconductor body 1 is secured by its back-side contact 11 to a first electrical terminal 2 by means of an electrically conductive joining means such as a metal solder or an adhesive. The front-side contact 12 is joined to a second electrical terminal 3 by means of a bond wire 14.

The free surfaces of the semiconductor body 1 and portions of the electrical terminals 2 and 3 are enclosed directly by a hardened, wavelength-converting casting or potting composition 5. The casting composition preferably has the following: epoxy casting resin 80 to 90% by weight, luminous substance pigments (YAG:Ce) $\leq 15\%$ by weight, diethylene glycol monomethyl ether $\leq 2\%$ by weight, Tego-pren 6875-45 $\leq 2\%$ by weight, Acrosil 200 $\leq 5\%$ by weight.

The exemplary embodiment of a semiconductor component according to the invention shown in FIG. 2 differs from that of FIG. 1 in that the semiconductor body 1 in portions of the electrical terminals 2 and 3 are enclosed not by a wavelength-converting potting mass but by a transparent envelope 15. The transparent envelope 15 does not cause any change in the wavelength of the radiation emitted by the semiconductor body 1 and for instance comprises an epoxy, silicone or acrylate resin conventionally used in LED technology, or some other suitable radiation-permeable material, such as inorganic glass.

A layer 4 is applied to the transparent envelope 15. The layer 4 comprises a wavelength-converting casting composition and, as shown in FIG. 2, covers the entire surface of the envelope 15. It is equally conceivable for the layer 4 to cover only a portion of the surface. The layer 4 for instance comprises a transparent epoxy resin which is mixed with luminous substance particles 6. Once again, for a semiconductor component that emits white light, YAG:Ce is preferred as the luminous substance.

FIG. 3 illustrates a particularly advantageous and preferred embodiment of the invention. The first and second electrical terminals 2, 3 are embedded in an opaque, and optionally prefabricated, basic housing 8 that has a recess 9. The term "prefabricated" is understood to mean that the basic housing 8 is already finished at the terminals 2, 3, for instance by means of injection molding, before the semiconductor body is mounted on the terminal 2. The basic housing 8, by way of example, is formed of opaque plastic, and in terms of its form the recess 9 is embodied as a reflector 17 for the radiation emitted by the semiconductor body in operation (the reflection optionally being achieved by means of suitable coating of the inside walls of the recess 9). Such basic housings 8 are used in particular for LEDs that are surface-mounted on printed circuit boards. They are applied, before mounting of the semiconductor body, to a conductor strip (lead frame) that has the electrical terminals 2, 3, the application for instance being done by injection molding.

The recess 9 is filled with a casting composition 5, whose composition is equivalent to that given above in conjunction with the description of FIG. 1.

FIG. 4 shows a so-called radial diode. Here, the electroluminescing semiconductor body 1 is secured, for instance by soldering or adhesive bonding, in a part 16, embodied as a reflector, of the first electrical terminal 2. Such housing constructions are known in LED technology and therefore require no further description here. The free surfaces of the semiconductor body 1 are covered directly by a casting composition 5 containing luminous substance particles 6, and the casting composition in turn is surrounded by a further transparent housing envelope 10.

It will be appreciated by those skilled in the art that, in the construction of FIG. 4 as well, analogously to the component of FIG. 1, an integral envelope comprising hardened casting composition 5 with luminous substance particles 6, may also be used.

In the exemplary embodiment of FIG. 5, a layer 4 (see the list of materials given above) is coated directly on the semiconductor body 1. The semiconductor body 1 and portions of the electrical terminals 2, 3 are enclosed by a further transparent housing envelope 10. The latter causes no change in wavelength of the radiation that has passed through the layer 4, and it is made for instance from a transparent epoxy resin that is usable in LED technology, or from glass.

Such semiconductor bodies 1 provided with a layer 4 and without an envelope can naturally advantageously be used in all the housing constructions known from LED technology (such as SMD housings, and radial housings; see FIG. 4).

In all the components described above, in order to optimize the color impression of the light emitted and to adapt the emission characteristics, the casting composition 5, optionally the transparent envelope 15, and/or optionally the further transparent envelope 10 may have light-scattering particles, advantageously so-called diffusers. Examples of such diffusers are mineral fillers, in particular CaF_2 , TiO_2 , SiO_2 , CaCO_3 , or BaSO_4 , or organic pigments. These materials can easily be added to epoxy resins.

FIGS. 6-8 illustrate emissions spectra. FIG. 6 refers to a semiconductor body that emits blue light (luminescence maximum at $\lambda=430$ nm) and FIGS. 7 and 8 refer to semiconductor components that emit white light. In each case, the wavelength λ is plotted in nm on the abscissa, and a relative electroluminescence (EL) intensity is plotted on the ordinate.

Of the radiation emitted by the semiconductor body in FIG. 6, only some is converted into a longer-wavelength range, so that white light is created as the mixed color. The dashed line 30 in FIG. 7 represents an emissions spectrum of a semiconductor component which emits radiation comprising two complementary wavelength ranges (blue and yellow) and thus emits combined white light. The emissions spectrum here has one maximum each at wavelengths between approximately 400 and approximately 430 nm (blue) and between approximately 550 and 580 nm (yellow). The solid line 31 represents the emissions spectrum of a semiconductor component that mixes the color white from three wavelength ranges (additive color triad comprising blue, green and red). The emissions spectrum here has one maximum each for the wavelengths of approximately 430 nm (blue), approximately 500 nm (green) and approximately 615 nm (red).

FIG. 8 shows an emissions spectrum of a white-emitting semiconductor component, which is provided with a semiconductor body that transmits an emissions spectrum as shown in FIG. 6 and in which TAG:Ce is used as the luminous substance. Of the radiation shown in FIG. 6 emitted by the semiconductor body, only some is converted into a longer-wavelength range, so that white light is created as a mixed color. The variously dashed lines 32-33 of FIG. 8 represent emissions spectra of semiconductor components according to the invention, in which the epoxy resin of the casting composition 5 has different YAG:Ce concentrations. Each emissions spectrum has one maximum intensity between $\lambda=420$ nm and $\lambda=430$ nm (i.e., in the blue spectrum), and between $\lambda=520$ nm and $\lambda=545$ nm (i.e., in the green spectrum). The emission bands

having the longer-wavelength maximum intensity are predominantly located in the yellow spectral range. The graph of FIG. 8 shows that in the semiconductor component of the invention, the CIE color location of the white light can be varied in a simple way by varying the luminous substance concentration in the epoxy resin.

While the foregoing specification refers specifically to a semiconductor body, for example LED chips or laser diode chips, the invention is not in the least restricted to these embodiments. The term may also be understood to mean a polymer LED, for instance, that emits an equivalent radiation spectrum.

We claim:

1. A wavelength-converting casting composition, for converting a wavelength of ultraviolet, blue or green light emitted by an electroluminescent component, comprising:
 - a transparent epoxy casting resin;
 - an inorganic luminous substance pigment powder dispersed in said transparent epoxy resin, said pigment powder comprising luminous substance pigments from a phosphorus group having the general formula $\text{A}_3\text{B}_5\text{X}_{12}:\text{M}$, where A is an element selected from the group consisting of Y, Ca, Sr; B is an element selected from the group consisting of Al, Ga, Si; X is an element selected from the group consisting of O and S; M is an element selected from the group consisting of Ce and Tb;
 - said luminous substance pigments having grain sizes ≤ 20 μm and a mean grain diameter $d_{50} \leq 5$ μm .
2. The casting composition according to claim 1, wherein said luminous substance pigments are substantially spherical particles.
3. The casting composition according to claim 1, wherein said luminous substance pigments are flakelike particles.
4. The casting composition according to claim 1, wherein the mean grain diameter d_{50} of said luminous substance pigments is between one and two micrometers.
5. The casting composition according to claim 1, which comprises the following components:
 - a) epoxy casting resin $\geq 60\%$ by weight;
 - b) luminous substance pigments >0 and $\leq 25\%$ by weight;
 - c) thixotropic agent >0 and $\leq 10\%$ by weight;
 - d) mineral diffuser >0 and $\leq 10\%$ by weight;
 - e) processing adjuvant >0 and $\leq 3\%$ by weight;
 - f) hydrophobic agent >0 and $\leq 3\%$ by weight; and
 - g) adhesion promoters >0 and $\leq 2\%$ by weight.
6. The casting composition according to claim 1, wherein said luminous substance pigments are particles of Ce-doped garnets.
7. The casting composition according to claim 6, wherein said luminous substance pigments are YAG:Ce particles.
8. The casting composition according to claim 1, which comprises a content of iron ≤ 20 ppm.
9. The casting composition according to claim 1, wherein said luminous substance pigments are formed with a silicon coating.
10. A light-emitting semiconductor component, comprising:
 - a semiconductor body formed of a semiconductor layer sequence and being capable, during an operation of the semiconductor component, of emitting electromagnetic radiation in at least one of an ultraviolet, blue, and green spectral range;
 - a wavelength-converting casting composition disposed in a vicinity of said semiconductor body, said casting

11

composition being formed of a transparent epoxy casting resin and an inorganic luminous substance pigment powder dispersed in said transparent epoxy resin, said pigment powder comprising luminous substance pigments from a phosphorus group having the general formula $A_3B_5X_{12}M$, where A is an element selected from the group consisting of Y, Ca, Sr; B is an element selected from the group consisting of Al, Ga, Si; X is an element selected from the group consisting of O and S; M is an element selected from the group consisting of Ce and Tb, and having grain sizes $\leq 20 \mu m$ and a mean grain diameter $d_{50} \leq 5 \mu m$;

said luminous substance pigments converting a portion of the radiation originating from the ultraviolet, blue and green spectral range into radiation of a higher wavelength, such that the semiconductor component emits mixed radiation including the higher-wavelength radiation and radiation from at least one of the ultraviolet, blue and green spectral range.

12

11. The light-emitting semiconductor component according to claim 10, wherein said casting composition encloses at least a part of said semiconductor body.

12. The light-emitting semiconductor component according to claim 10, wherein said semiconductor body is adapted to emit radiation in a blue spectral range having a maximum luminescence intensity at $\lambda=430 \text{ nm}$ or at $\lambda=450 \text{ nm}$.

13. The light-emitting semiconductor component according to claim 10, which further comprises an opaque base housing having a recess formed therein, said semiconductor body being disposed in said recess and said recess being at least partially filled with said casting composition.

14. The light-emitting semiconductor component according to claim 10, wherein said casting composition is provided with various kinds of luminous substance pigments in respect to a host lattice distribution and a type and extent of doping.

* * * * *

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
CERTIFICATE OF CORRECTION

PATENT NO. : 6,066,861
DATED : May 23, 2000
INVENTOR(S) : Klaus Höhn, Elexandra Debray, Peter Schlotter, Ralf Schmidt and Jürgen Schneider

Page 1 of 1

It is certified that error appears in the above-identified patent and that said Letters Patent is hereby corrected as shown below:

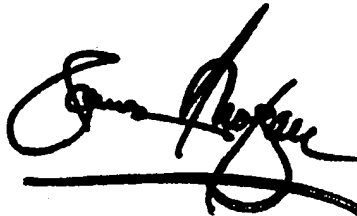
Title page,

Insert -- [30] **Foreign Application Priority Data**
September 20, 1996 (DE).....196 38 667.5 --

Signed and Sealed this

Eleventh Day of June, 2002

Attest:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "James E. Rogan", written over a horizontal line.

Attesting Officer

JAMES E. ROGAN
Director of the United States Patent and Trademark Office

HPS Trailer Page
for

EAST

UserID: JMondt_Job_1_of_1

Printer: cp4_3c03_gbfhptr

Summary

<u>Document</u>	<u>Pages</u>	<u>Printed</u>	<u>Missed</u>	<u>Copies</u>
WO009812757	31	31	0	1
Total (1)	31	31	0	-



PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

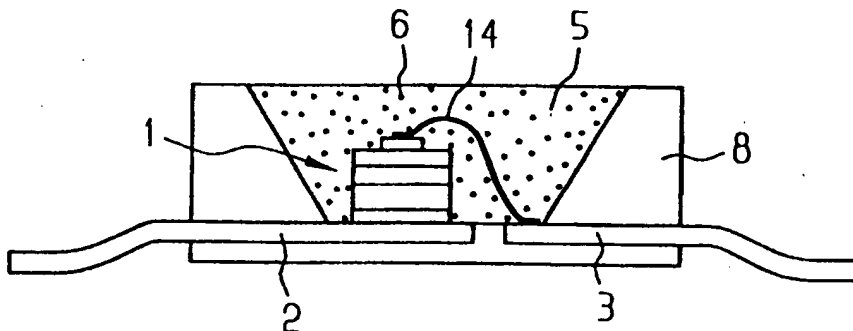
(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : H01L 33/00, H01S 3/19		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/12757
		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:	26. März 1998 (26.03.98)
(21) Internationales Aktenzeichen:	PCT/DE97/02139	(81) Bestimmungsstaaten: BR, CN, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(22) Internationales Anmeldedatum:	22. September 1997 (22.09.97)		
(30) Prioritätsdaten:	196 38 667.5 20. September 1996 (20.09.96) DE	Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.	
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).			
(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HÖHN, Klaus [DE/DE]; Pater-Rupert-Mayer-Weg 5, D-82024 Taufkirchen (DE). DEBRAY, Alexandra [DE/DE]; Grünbeckstrasse 8, D- 93049 Regensburg (DE). SCHLOTTER, Peter [DE/DE]; Kammertalstrasse 8A, D-79113 Freiburg (DE). SCHMIDT, Ralf [DE/DE]; Mühlenstrasse 14, D-79279 Vörstetten (DE). SCHNEIDER, Jürgen [DE/DE]; Neuhaeuser Strasse 62, D- 79199 Kirchzarten (DE).			

(54) Title: SEALING MATERIAL WITH WAVELENGTH CONVERTING EFFECT, APPLICATION AND PRODUCTION PROCESS

(54) Bezeichnung: WELLENLÄNGENKONVERTIERENDE VERGUSSMASSE, DEREN VERWENDUNG UND VERFAHREN ZU
DEREN HERSTELLUNG

(57) Abstract

The present invention pertains to a sealing material (5) with wavelength converting effect, obtained by mixing epoxy cast resin with a luminescent substance and intended for use in an electroluminescent building component comprising a body (1) emitting an ultraviolet light, blue or green, and spraying in the epoxy cast resin a powder of inorganic luminescent pigments (6) from the phosphor group of general formula $A_3B_5X_{12}M$, with a grain size $\leq 10 \mu m$ and a grain diameter $d_{50} \leq 5 \mu m$.



(57) Zusammenfassung

Wellenlängenkonvertierende Vergussmasse (5) auf der Basis eines transparenten Epoxidgießharzes, das mit einem Leuchtstoff versetzt ist, für ein elektrolumineszierendes Bauelement mit einem ultravioletten, blaues oder grünes Licht aussendenden Körper (1). Im transparenten Epoxidgießharz ist ein anorganisches Leuchtstoffpigmentpulver mit Leuchtstoffpigmenten (6) aus der Gruppe der Phosphore mit der allgemeinen Formel $A_3B_5X_{12}M$ dispergiert und die Leuchtstoffpigmente weisen Korngrößen $\leq 10 \mu m$ und einen mittleren Korndurchmesser $d_{50} \leq 5 \mu m$ auf.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbeidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Beschreibung

Wellenlängenkonvertierende Vergußmasse, deren Verwendung und Verfahren zu deren Herstellung

5

Die Erfindung betrifft eine wellenlängenkonvertierende Vergußmasse auf der Basis eines transparenten Epoxidgießharzes, das mit einem Leuchtstoff versetzt ist, insbesondere für die Verwendung bei einem elektrolumineszierenden Bauelement mit einem ultraviolettes, blaues oder grünes Licht aussendenden Körper.

10

Ein derartiges Bauelement ist beispielsweise aus der Offenlegungsschrift DE 38 04 293 bekannt. Darin ist eine Anordnung mit einer Elektrolumineszenz- oder Laserdiode beschrieben, bei der das von der Diode abgestrahlte Emmissionsspektrum mittels eines mit einem fluoreszierenden, lichtwandelnden organischen Farbstoff versetzten Elements aus Kunststoff zu größeren Wellenlängen hin verschoben wird. Das von der Anordnung abgestrahlte Licht weist dadurch eine andere Farbe auf als das von der Leuchtdiode ausgesandte. Abhängig von der Art des dem Kunststoff beigefügten Farbstoffes lassen sich mit ein und demselben Leuchtdiodentyp Leuchtdiodenanordnungen herstellen, die in unterschiedlichen Farben leuchten.

15

20

In vielen potentiellen Anwendungsgebieten für Leuchtdioden, wie zum Beispiel bei Anzeigeelementen im Kfz-Armaturenbereich, Beleuchtung in Flugzeugen und Autos und bei vollfarbtauglichen LED-Displays, tritt verstärkt die Forderung nach Leuchtdiodenanordnungen auf, mit denen sich mischfarbiges Licht, insbesondere weißes Licht erzeugen läßt.

30

Die bislang bekannten Vergußmassen der eingangs genannten Art mit organischen Leuchtstoffen zeigen bei Temperatur- und Temperatur-Feuchtebeanspruchung jedoch eine Verschiebung des Farb-

tes, also des Farbe des vom elektrolumineszierenden Bauelement abgestrahlten Lichtes.

In JP-07 176 794-A ist eine weißes Licht aussendende planare
5 Lichtquelle beschrieben, bei der an einer Stirnseite einer transparenten Platte zwei blaues Licht emittierende Dioden angeordnet sind, die Licht in die transparente Platte hinein aus-
senden. Die transparente Platte ist auf einer der beiden einander gegenüberliegenden Hauptflächen mit einer fluoreszierenden
10 Substanz beschichtet, die Licht emittiert, wenn sie mit dem blauen Licht der Dioden angeregt wird. Das von der fluoreszierenden Substanz emittierte Licht hat eine andere Wellenlänge als das von den Dioden emittierte blaue Licht. Bei diesem bekannten Bauelement ist es besonders schwierig, die fluoreszie-
15 rende Substanz in einer Art und Weise aufzubringen, daß die Lichtquelle homogenes weißes Licht abstrahlt. Darüber hinaus bereitet auch die Reproduzierbarkeit in der Massenfertigung große Probleme, weil schon geringe Schichtdickenschwankungen der fluoreszierenden Schicht, z. B. aufgrund von Unebenheiten
20 der Oberfläche der transparenten Platte, eine Änderung des Weißtones des abgestrahlten Lichtes hervorruft.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vergußmasse der eingangs genannten Art zu entwickeln, mit der
25 elektrolumineszierende Bauelemente hergestellt werden können, die homogenes mischfarbiges Licht abstrahlen und die eine Massenfertigung mit vertretbarem technischen Aufwand und mit weitestgehend reproduzierbarer Bauelementcharakteristik ermöglicht. Das abgestrahlte Licht soll auch bei Temperatur- und
30 Temperatur-Feuchtebeanspruchung farbstabil sein. Desweiteren soll ein Verfahren zum Herstellen dieser Vergußmasse angegeben werden.

Diese Aufgabe wird durch eine Vergußmasse mit den Merkmalen des
35 Anspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen und Verwen-

dungen der Vergußmasse sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 11 bzw. 12 bis 16.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß im transparenten Epoxid-
5 gießharz ein anorganisch-mineralisches Leuchtstoffpigmentpulver
auf der Basis eines Granatwirtsgitters mit der allgemeinen For-
mel $A_3B_5X_{12}:M$ dispergiert sind und daß die Leuchtstoffpigmente
Korngrößen $\leq 20 \mu m$ und einen mittleren Korndurchmesser $d_{50} \leq 5$
10 μm aufweisen. Besonders bevorzugt liegt der mittlere Korndurch-
messer d_{50} zwischen 1 und 2 μm . Bei diesen Korngrößen können
günstige Fertigungsausbeuten erhalten werden.

Anorganisch-mineralische Leuchtstoffe sind vorteilhafterweise
äußerst temperatur- und temperatur-feuchtestabil.

15

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung der erfindungsge-
mäßigen Vergußmasse setzt sich diese zusammen aus:

- a) Epoxidgießharz ≥ 60 Gew%
- b) Leuchtstoffpigmente ≤ 25 Gew%
- 20 c) Thixotropiermittel ≤ 10 Gew%
- d) mineralischem Diffusor ≤ 10 Gew%
- e) Verarbeitungshilfsmittel ≤ 3 Gew%
- f) Hydrophobiermittel ≤ 3 Gew%
- g) Haftvermittler ≤ 2 Gew%.

25

Geeignete Epoxidgießharze sind beispielsweise in der DE-OS 26
42 465 auf den Seiten 4 bis 9, insbesondere Beispiele 1 bis 4,
und in der EP 0 039 017 auf den Seiten 2 bis 5, insbesondere
Beispiele 1 bis 8, beschrieben, deren Offenbarungsgehalt hier-
30 mit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Als Thixotropiermittel ist beispielsweise pyrogene Kieselsäure
verwendet. Das Thixotropiermittel dient zur Eindickung des
Epoxidgießharzes, um die Sedimentation des Leuchtpigmentpulvers

zu vermindern. Für die Gießharzverarbeitung werden weiter die Fließ- und Benetzungseigenschaften eingestellt.

Als mineralischer Diffusor zur Optimierung des Leuchtbildes des Bauelements ist bevorzugt CaF_2 verwendet.

Als Verarbeitungshilfsmittel eignet sich beispielsweise Glykolether. Es verbessert die Verträglichkeit zwischen Epoxidgießharz und Leuchtpigmentpulver und dient damit zur Stabilisierung der Dispersion Leuchtpigmentpulver - Epoxidgießharz. Zu diesem Zweck können auch Oberflächenmodifikatoren auf Silikonbasis eingesetzt werden.

Das Hydrophobiermittel, z. B. flüssiges Silikonwachs, dient ebenfalls zur Modifikation der Pigmentoberfläche, insbesondere wird die Verträglichkeit und Benetzbarkeit der anorganischen Pigmentoberfläche mit dem organischen Harz verbessert.

Der Haftvermittler, z. B. funktionelles Alkoxysiloxan, verbessert die Haftung zwischen den Pigmenten und dem Epoxidharz im ausgehärteten Zustand der Vergußmasse. Dadurch wird erreicht, daß die Grenzfläche zwischen dem Epoxidharz und den Pigmenten z. B. bei Temperaturschwankungen nicht abreißt. Spalte zwischen dem Epoxidharz und den Pigmenten würden zu Lichtverlusten im Bauelement führen.

Das Epoxidgießharz, bevorzugt mit einem reaktiven Oxirandring, enthält vorzugsweise ein mono- und/oder ein mehrfunktionelles Epoxidgießharzsystem (≥ 80 Gew%; z. B. Bisphenol-A-Diglycidylether), einen Reaktivverdünner (≤ 10 Gew%; z. B. aromatischer Monoglycidylether), einen mehrfunktionellen Alkohol (≤ 5 Gew%), ein Entgasungsmittel auf Silikonbasis (≤ 1 Gew%) und eine Entfärbungskomponente zur Einstellung der Farbzahl (≤ 1 Gew%).

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung des Vergusses sind die Leuchtstoffpigmente kugelförmig oder schuppenförmig. Die Neigung zur Agglomeratbildung derartiger Pigmente ist vorteilhafterweise sehr gering. Der H₂O-Gehalt liegt unter 2%.

5

Bei der Herstellung und Verarbeitung von Epoxidgießharzkomponenten mit anorganischen Leuchtstoffpigmentpulvern treten im allgemeinen neben Benetzungs- auch Sedimentationsprobleme auf. Besonders Leuchtstoffpigmentpulver mit $d_{50} \leq 5 \mu\text{m}$ neigen stark zur Agglomeratbildung. Bei der zuletzt genannten Zusammensetzung der Vergußmasse können die Leuchtstoffpigmente vorteilhafterweise in der oben angegebenen Korngröße im Wesentlichen agglomeratfrei und homogen in das Epoxidgießharz dispergiert werden. Diese Dispersion ist auch bei längerer Lagerung der Vergußmasse stabil. Es treten im Wesentlichen keine Benetzungs- und/oder Sedimentationsprobleme auf.

Besonders bevorzugt sind als Leuchtstoffpigmente Partikel aus der Gruppe der Ce-dotierten Granate, insbesondere YAG:Ce-Partikel verwendet. Eine vorteilhafte Dotierstoffkonzentration ist beispielsweise 1% und eine vorteilhafte Leuchtstoffkonzentration beträgt beispielsweise 12%. Desweiteren weist das bevorzugt hochreine Leuchtstoffpigmentpulver vorteilhafterweise einen Eisengehalt von $\leq 5 \text{ ppm}$ auf. Ein hoher Eisengehalt führt zu hohen Lichtverlusten im Bauelement. Das Leuchtstoffpigmentpulver ist stark abrasiv. Der Fe-Gehalt der Vergußmasse kann bei deren Herstellung daher beträchtlich ansteigen. Vorteilhaft sind Fe-Gehalte in der Vergußmasse $< 20 \text{ ppm}$.

Der anorganische Leuchtstoff YAG:Ce hat unter anderem den besonderen Vorteil, daß es sich hierbei um nicht lösliche Farbpigmente mit einem Brechungsindex von ca. 1,84 handelt. Dadurch treten neben der Wellenlängenkonversion Dispersion und Streueffekte auf, die zu einer guten Vermischung von blauer Diodenstrahlung und gelber Konverterstrahlung führen.

Besonders vorteilhaft ist weiterhin, dass die Leuchtstoffkonzentration im Epoxidharz bei Verwendung von anorganischen Leuchtstoffpigmenten nicht, wie bei organischen Farbstoffen, durch die Löslichkeit begrenzt wird.

Zur weiteren Verminderung der Agglomeratbildung können die Leuchtstoffpigmente vorteilhafterweise mit einem Silikon-Coating versehen sein.

10

Bei einem bevorzugten Verfahren zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Vergußmasse wird das Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz z. B. ca. 10 Stunden bei einer Temperatur $\geq 200^{\circ}\text{C}$ getempert. Dadurch kann ebenfalls die Neigung zu Agglomeratbildung verringert werden.

15

Alternativ oder zusätzlich kann dazu das Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz in einem höher siedenden Alkohol geschlämmt und anschließend getrocknet wird.

20

Eine weitere Möglichkeit die Agglomeratbildung zu verringern besteht darin, dem Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz ein hydrophobierendes Silikonwachs zuzugeben. Besonders vorteilhaft ist die Oberflächenstabilisierung der Phosphore durch erwärmen der Pigmente in Gegenwart von Glykolethern, z. B. 16 h bei $T > 60^{\circ}\text{C}$.

25

Zur Vermeidung störender Verunreinigungen beim Dispergieren der Leuchtstoffpigmente, verursacht durch Abrieb, werden Reaktionsgefäße, Rühr- und Dispergiervorrichtungen sowie Walzwerke aus Glas, Korund, Carbid- und Nitridwerkstoffen sowie speziell gehärtete Stahlsorten verwendet. Agglomeratfreie Leuchtstoffdispersionen werden auch in Ultraschallverfahren oder durch den Einsatz von Sieben und Glaskeramikfritten erhalten.

30

- Ein besonders bevorzugter anorganischer Leuchtstoff zur Herstellung von Weiß leuchtenden optoelektronischen Bauelementen ist der Phosphor YAG:Ce ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$). Dieser läßt sich auf besonders einfache Weise in herkömmlich in der LED-Technik verwendeten transparenten Epoxidgießharzen mischen. Weiterhin als Leuchtstoffe denkbar sind weitere mit Seltenen Erden dotierte Granate wie z. B. $\text{Y}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$, $\text{Y}(\text{Al},\text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ und $\text{Y}(\text{Al},\text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Tb}^{3+}$.
- 10 Zur Erzeugung von mischfarbigem Licht eignen sich darüberhinaus besonders die mit Seltenen Erden dotierten Thiogallate wie z. B. $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}^{3+}$ und $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}^{3+}$. Ebenso ist hierzu die Verwendung von mit Seltenen Erden dotierten Aluminaten wie z. B. $\text{YAlO}_3:\text{Ce}^{3+}$, $\text{YGaO}_3:\text{Ce}^{3+}$, $\text{Y}(\text{Al},\text{Ga})\text{O}_3:\text{Ce}^{3+}$ und mit Seltenen Erden dotierten Orthosilikaten $\text{M}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$ (M: Sc, Y, Sc) wie z. B. $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$ denkbar. Bei allen Yttriumverbindungen kann das Yttrium im Prinzip auch durch Scandium oder Lanthan ersetzt werden.
- 20 Bevorzugt wird die erfindungsgemäße Vergußmasse bei einem strahlungsemittierenden Halbleiterkörper, insbesondere mit einer aktiven Halbleiterschicht oder -schichtenfolge aus $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ oder $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$, eingesetzt, der im Betrieb eine elektromagnetische Strahlung aus dem ultravioletten, blauen und/oder grünen Spektralbereich aussendet. Die Leuchtstoffpartikel in der Vergußmasse wandeln einen Teil der aus diesem Spektralbereich stammenden Strahlung in Strahlung mit größerer Wellenlänge um, derart, daß das Halbleiterbauelement Mischstrahlung, insbesondere mischfarbiges Licht, bestehend aus dieser Strahlung und
- 30 aus Strahlung aus dem ultravioletten, blauen und/oder grünen Spektralbereich aussendet. Das heißt beispielsweise, daß die Leuchtstoffpartikel einen Teil der vom Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung spektral selektiv absorbiert und im längerwelligen Bereich emittiert. Bevorzugt weist die von dem Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung bei einer Wellenlänge $\lambda \leq$
- 35

520 nm ein relatives Intensitätsmaximum auf und liegt der von den Leuchtstoffpartikeln spektral selektiv absorbierte Wellenlängenbereich außerhalb dieses Intensitätsmaximums.

- 5 Ebenso können vorteilhafterweise auch mehrere verschiedenartige Leuchtstoffpartikelarten, die bei unterschiedlichen Wellenlängen emittieren, in der Vergußmasse dispergiert sein. Dies wird bevorzugt durch unterschiedliche Dotierungen in unterschiedlichen Wirtsgittern erreicht. Dadurch ist es vorteilhafterweise
- 10 möglich, vielfältige Farbmischungen und Farbtemperaturen des vom Bauelement emittierten Lichtes zu erzeugen. Von besonderem Interesse ist dies für vollfarbtaugliche LEDs.

Bei einer bevorzugten Verwendung der erfindungsgemäßen Verguß-

15 masse ist ein strahlungsemitterender Halbleiterkörper (z. B. ein LED-Chip) zumindest teilweise von dieser umschlossen. Die Vergußmasse ist dabei bevorzugt gleichzeitig als Bauteilumhüllung (Gehäuse) genutzt. Der Vorteil eines Halbleiterbauelements gemäß dieser Ausführungsform besteht im wesentlichen darin, daß

20 zu seiner Herstellung konventionelle, für die Herstellung von herkömmlichen Leuchtdioden (z. B. Radial-Leuchtdioden) eingesetzte Produktionslinien verwendet werden können. Für die Bauteilumhüllung wird anstelle des bei herkömmlichen Leuchtdioden dafür verwendeten transparenten Kunststoffes einfach die Ver-

25 gußmasse verwendet.

Mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse kann auf einfache Weise mit einer einzigen farbigen Lichtquelle, insbesondere einer Leuchtdiode mit einem einzigen blaues Licht abstrahlenden Halbleiterkörper, mischfarbiges, insbesondere weißes Licht erzeugt werden. Um z. B. mit einem blaues Licht aussendenden Halbleiterkörper weißes Licht zu erzeugen, wird ein Teil der von dem Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung mittels anorganischer Leuchtstoffpartikel aus dem blauen Spektralbereich in den zu

30 Blau komplementärfarbiges gelben Spektralbereich konvertiert.

35

Die Farbtemperatur oder Farbort des weißen Lichtes kann dabei durch geeignete Wahl des Leuchtstoffes, dessen Partikelgröße und dessen Konzentration, variiert werden. Darüber hinaus können auch Leuchtstoffmischungen eingesetzt werden, wodurch sich
5 vorteilhafterweise der gewünschte Farbton des abgestrahlten Lichtes sehr genau einstellen läßt.

Besonders bevorzugt wird die Vergußmasse bei einem strahlungse-
mittierenden Halbleiterkörper verwendet, bei dem das ausgesand-
10 te Strahlungsspektrum bei einer Wellenlänge zwischen 420nm und 460 nm, insbesondere bei 430 nm (z. B. Halbleiterkörper auf der Basis von $Ga_xAl_{1-x}N$) oder 450 nm (z. B. Halbleiterkörper auf der Basis von $Ga_xIn_{1-x}N$) ein Intensitätsmaximum aufweist. Mit einem derartigen Halbleiterbauelement lassen sich vorteilhafterweise
15 nahezu sämtliche Farben und Mischfarben der C.I.E.-Farbtafel erzeugen. An Stelle des strahlungsemittierenden Halbleiterkörpers aus elektrolumineszierendem Halbleitermaterial kann aber auch ein anderes elektrolumineszierendes Material, wie beispielsweise Polymermaterial, eingesetzt werden.

20 Besonders geeignet ist die Vergußmasse für ein lichtemittierendes Halbleiterbauelement (z. B. eine Leuchtdiode), bei dem der elektrolumineszierende Halbleiterkörper in einer Ausnehmung eines vorgefertigten eventuell bereits mit einem Leadframe versehenen Gehäuses angeordnet ist und die Ausnehmung mit der Ver-
25 gußmasse versehen ist. Ein derartiges Halbleiterbauelement läßt sich in großer Stückzahl in herkömmlichen Produktionslinien herstellen. Hierzu muß lediglich nach der Montage des Halbleiterkörpers in das Gehäuse die Vergußmasse in die Ausnehmung ge-
30 füllt werden.

Ein weißes Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement läßt sich mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse vorteilhafterweise dadurch herstellen, daß der Leuchtstoff so gewählt wird, daß eine
35 von dem Halbleiterkörper ausgesandte blaue Strahlung in komple-

mentäre Wellenlängenbereiche, insbesondere Blau und Gelb, oder zu additiven Farbtupeln, z. B. Blau, Grün und Rot umgewandelt wird. Hierbei wird das gelbe bzw. das grüne und rote Licht über die Leuchtstoffe erzeugt. Der Farbton (Farbort in der CIE-

- 5 Farbtabelle) des dadurch erzeugten weißen Lichts kann dabei durch geeignete Wahl des/der Leuchtstoffes/e hinsichtlich Mischung und Konzentration variiert werden.

Um die Durchmischung der von einem elektrolumineszierenden Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung mit der vom Leuchtstoff konvertierten Strahlung und damit die Farbhomogenität des vom Bauelement abgestrahlten Lichtes zu verbessern, ist bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vergußmasse zusätzlich ein im Blauen lumineszierender Farbstoff zugefügt, der eine sogenannte Richtcharakteristik der von dem Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung abschwächt. Unter Richtcharakteristik ist zu verstehen, daß die von dem Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung eine bevorzugte Abstrahlrichtung aufweist.

- 20 Ein weißes Licht abstrahlendes erfindungsgemäßes Halbleiterbauelement mit einem blaues Licht emittierenden elektrolumineszierenden Halbleiterkörper läßt sich besonders bevorzugt dadurch realisieren, daß dem für die Vergußmasse verwendeten Epoxidharz der anorganische Leuchtstoff YAG:Ce ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$) beigemischt ist. Ein Teil einer von dem Halbleiterkörper ausgesandten blauen Strahlung wird von dem anorganischen Leuchtstoff $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ in den gelben Spektralbereich und somit in einen zur Farbe Blau komplementärfarbigem Wellenlängenbereich verschoben. Der Farbton (Farbort in der CIE-Farbtabelle) des weißen Lichts kann dabei durch geeignete Wahl der Farbstoffkonzentration variiert werden.

Der Vergußmasse können zusätzlich lichtstreuende Partikel, sogenannte Diffusoren zugesetzt sein. Hierdurch läßt sich vor-

teilhafterweise der Farbeindruck und die Abstrahlcharakteristik des Halbleiterbauelements weiter optimieren.

5 Mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse kann vorteilhafterweise auch eine von einem elektrolumineszierenden Halbleiterkörper neben der sichtbaren Strahlung ausgesandte ultraviolette Strahlung in sichtbares Licht umgewandelt werden. Dadurch wird die Helligkeit des vom Halbleiterkörper ausgesandten Lichts deutlich erhöht.

10 Ein besonderer Vorteil von erfindungsgemäßen weißes Licht abstrahlenden Halbleiterbauelementen, bei denen als Lumineszenzkonversionsfarbstoff insbesondere YAG:Ce verwendet ist, besteht darin, daß dieser Leuchtstoff bei Anregung mit blauem Licht eine spektrale Verschiebung von ca. 100 nm zwischen Absorption
15 und Emission bewirkt. Dies führt zu einer wesentlichen Reduktion der Reabsorption des vom Leuchtstoff emittierten Lichtes und damit zu einer höheren Lichtausbeute. Außerdem besitzt YAG:Ce vorteilhafterweise eine hohe thermische und photochemische (z.
20 B. UV-) Stabilität (wesentlich höher als organische Leuchtstoffe), so daß auch Weiß leuchtende Dioden für Außenanwendung und/oder hohe Temperaturbereiche herstellbar sind.

25 YAG:Ce hat sich bislang hinsichtlich Reabsorption, Lichtausbeute, thermischer und photochemischer Stabilität und Verarbeitbarkeit als am besten geeigneter Leuchtstoff herausgestellt. Denkbar ist jedoch auch die Verwendung von anderen Ce-dotierten Phosphoren, insbesondere Ce-dotierten Granattypen.

30 Die Wellenlängenkonversion der Primärstrahlung wird durch die Kristallfeldaufspaltung der aktiven Übergangsmetallzentren im Wirtsgitter bestimmt. Durch die Substitution von Y durch Gd und/oder Lu bzw. Al durch Ga im $Y_3Al_5O_{12}$ -Granatgitter können die Emissionswellenlängen in unterschiedlicher Weise verschoben
35 werden, wie außerdem durch die Art der Dotierung. Durch die

Substitution von Ce^{3+} -Zentren durch Eu^{3+} und/oder Cr^{3+} können entsprechende Shifts erzeugt werden. Entsprechende Dotierungen mit Nd^{3+} und Er^{3+} ermöglichen sogar aufgrund der größeren Ionenradien und damit geringeren Kristallfeldaufspaltungen IR-emittierende Bauelemente.

Weitere Merkmale, Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von zwei Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren 1 bis 8. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Schnittansicht eines ersten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 2 eine schematische Schnittansicht eines zweiten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 3 eine schematische Schnittansicht eines dritten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 4 eine schematische Schnittansicht eines vierten Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 5 eine schematische Schnittansicht eines fünften Halbleiterbauelements mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse;

Figur 6 eine schematische Darstellung eines Emissionsspektrums eines blauen Licht abstrahlenden Halbleiterkörpers mit einer Schichtenfolge auf der Basis von GaN;

Figur 7 eine schematische Darstellung der Emissionsspektren zweier Halbleiterbauelemente mit einer erfindungsgemäßen Vergußmasse, die weißes Licht abstrahlen, und

Figur 8 eine schematische Darstellung der Emissionsspektren von weiteren Halbleiterbauelementen, die weißes Licht abstrahlen.

In den verschiedenen Figuren sind gleiche bzw. gleichwirkende Teile immer mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

Bei dem lichtemittierenden Halbleiterbauelement von Figur 1 ist der Halbleiterkörper 1 mittels eines elektrisch leitenden Ver-

bindungsmittels, z. B. ein metallisches Lot oder ein Klebstoff, mit seinem Rückseitenkontakt 11 auf einem ersten elektrischen Anschluß 2 befestigt. Der Vorderseitenkontakt 12 ist mittels eines Bonddrahtes 14 mit einem zweiten elektrischen Anschluß 3 verbunden.

Die freien Oberflächen des Halbleiterkörpers 1 und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2 und 3 sind unmittelbar von einer gehärteten, wellenlängenkonvertierenden Vergußmasse 5 umschlossen. Diese weist bevorzugt auf: Epoxidgießharz 80 - 90 Gew%, Leuchtstoffpigmente (YAG:Ce) ≤ 15 Gew%, Diethylenglycolmonomethylether ≤ 2 Gew%, Tegopren 6875-45 ≤ 2 Gew%, Aerosil 200 ≤ 5 Gew%

Das in Figur 2 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements unterscheidet sich von dem der Figur 1 dadurch, daß der Halbleiterkörper 1 und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2 und 3 anstatt von einer wellenlängenkonvertierenden Vergußmasse von einer transparenten Umhüllung 15 umschlossen sind. Diese transparente Umhüllung 15 bewirkt keine Wellenlängenänderung der von dem Halbleiterkörper 1 ausgesandten Strahlung und besteht beispielsweise aus einem in der Leuchtdiodentechnik herkömmlich verwendeten Epoxid-, Silikon- oder Acrylatharz oder aus einem anderen geeigneten strahlungsdurchlässigen Material wie z. B. anorganisches Glas.

Auf diese transparente Umhüllung 15 ist eine Schicht 4 aufgebracht, die aus einer wellenlängenkonvertierenden Vergußmasse, wie in der Figur 2 dargestellt, die gesamte Oberfläche der Umhüllung 15 bedeckt. Ebenso denkbar ist, daß die Schicht 4 nur einen Teilbereich dieser Oberfläche bedeckt. Die Schicht 4 besteht beispielsweise aus einem transparenten Epoxidharz, das mit Leuchtstoffpartikeln 6 versetzt ist. Auch hier eignet sich als Leuchtstoff für ein weiß leuchtendes Halbleiterbauelement bevorzugt YAG:Ce.

- Bei dem in Figur 3 dargestellten besonders bevorzugten mit der erfindungsgemäßen Vergußmasse versehenen Bauelement, sind der erste und zweite elektrische Anschluß 2,3 in ein lichtundurchlässiges evtl. vorgefertigtes Grundgehäuse 8 mit einer Ausnehmung 9 eingebettet. Unter „vorgefertigt“ ist zu verstehen, daß das Grundgehäuse 8 bereits an den Anschlüssen 2,3 beispielsweise mittels Spritzguß fertig ausgebildet ist, bevor der Halbleiterkörper auf den Anschluß 2 montiert wird. Das Grundgehäuse 8 besteht beispielsweise aus einem lichtundurchlässigen Kunststoff und die Ausnehmung 9 ist hinsichtlich ihrer Form als Reflektor 17 für die vom Halbleiterkörper im Betrieb ausgesandte Strahlung (ggf. durch geeignete Beschichtung der Innenwände der Ausnehmung 9) ausgebildet. Solche Grundgehäuse 8 werden insbesondere bei auf Leiterplatten oberflächenmontierbaren Leuchtdioden verwendet. Sie werden vor der Montage der Halbleiterkörper auf ein die elektrischen Anschlüsse 2,3 aufweisendes Leiterband (Leadframe) z. B. mittels Spritzgießen aufgebracht.
- Die Ausnehmung 9 ist mit einer Vergußmasse 5, deren Zusammensetzung der oben in Verbindung mit der Beschreibung zu Figur 1 angegebenen entspricht, gefüllt.

- In Figur 4 ist eine sogenannte Radialdiode dargestellt. Hierbei ist der elektrolumineszierende Halbleiterkörper 1 in einem als Reflektor ausgebildeten Teil 16 des ersten elektrischen Anschlusses 2 beispielsweise mittels Löten oder Kleben befestigt. Derartige Gehäusebauformen sind in der Leuchtdiodentechnik bekannt und bedürfen von daher keiner näheren Erläuterung.

- Die freien Oberflächen des Halbleiterkörpers 1 sind unmittelbar von einer Vergußmasse 5 mit Leuchtstoffpartikel 6 bedeckt, die wiederum von einer weiteren transparenten Umhüllung 10 umgeben ist.

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle angemerkt, daß selbstverständlich auch bei der Bauform nach Figur 4 analog zu dem Bauelement gemäß Figur 1 eine einstückige Umhüllung, bestehend aus gehärteter Vergußmasse 5 mit Leuchtstoffpartikel 6, verwendet sein kann.

Bei dem Ausführungsbeispiel von Figur 5 ist eine Schicht 4 (mögliche Materialien wie oben angegeben) direkt auf den Halbleiterkörper 1 aufgebracht. Dieser und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2,3 sind von einer weiteren transparenten Umhüllung 10 umschlossen, die keine Wellenlängenänderung der durch die Schicht 4 hindurchgetretenen Strahlung bewirkt und beispielsweise aus einem in der Leuchtdiodentechnik verwendbaren transparenten Epoxidharz oder aus Glas gefertigt ist.

Solche, mit einer Schicht 4 versehenen Halbleiterkörper 1 ohne Umhüllung können natürlich vorteilhafterweise in sämtlichen aus der Leuchtdiodentechnik bekannten Gehäusebauformen (z. B. SMD-Gehäuse, Radial-Gehäuse (man vergleiche Figur 4) verwendet sein.

Bei sämtlichen der oben beschriebenen Bauelemente kann zur Optimierung des Farbeindrucks des abgestrahlten Lichts sowie zur Anpassung der Abstrahlcharakteristik die Vergußmasse 5, ggf. die transparente Umhüllung 15, und/oder ggf. die weitere transparente Umhüllung 10 lichtstreuende Partikel, vorteilhafterweise sogenannte Diffusoren aufweisen. Beispiele für derartige Diffusoren sind mineralische Füllstoffe, insbesondere CaF_2 , TiO_2 , SiO_2 , CaCO_3 oder BaSO_4 oder auch organische Pigmente. Diese Materialien können auf einfache Weise Epoxidharzen zugesetzt werden.

In den Figuren 6, 7 und 8 sind Emissionsspektren eines blaues Licht abstrahlenden Halbleiterkörpers (Fig. 6)

(Lumineszenzmaximum bei $\lambda \sim 430 \text{ nm}$) bzw. von mittels eines sol-

chen Halbleiterkörpers hergestellten Weiß leuchtenden Halbleiterbauelementen (Fig. 7 und 8) gezeigt. An der Abszisse ist jeweils die Wellenlänge λ in nm und auf der Ordinate ist jeweils eine relative Elektrolumineszenz (EL)-Intensität aufgetragen.

5

Von der vom Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung nach Figur 6 wird nur ein Teil in einen längerwelligen Wellenlängenbereich konvertiert, so daß als Mischfarbe weißes Licht entsteht. Die gestrichelte Linie 30 in Figur 7 stellt ein Emissionsspektrum von einem Halbleiterbauelement dar, das Strahlung aus zwei komplementären Wellenlängenbereichen (Blau und Gelb) und damit insgesamt weißes Licht aussendet. Das Emissionsspektrum weist hier bei Wellenlängen zwischen ca. 400 und ca. 430 nm (Blau) und zwischen ca. 550 und ca. 580 nm (Gelb) je ein Maximum auf.

15 Die durchgezogene Linie 31 repräsentiert das Emissionsspektrum eines Halbleiterbauelements, das die Farbe Weiß aus drei Wellenlängenbereichen (additives Farbtupel aus Blau, Grün und Rot) mischt. Das Emissionsspektrum weist hier beispielsweise bei den Wellenlängen von ca. 430 nm (Blau), ca. 500 nm (Grün) und ca. 615 nm (Rot) je ein Maximum auf.

20

Figur 8 zeigt ein Emissionsspektrum eines Weiß leuchtendes Halbleiterbauelement, das mit einem ein Emissions-Spektrum gemäß Figur 6 aussendenden Halbleiterkörper versehen ist und bei dem als Leuchtstoff YAG:Ce verwendet ist. Von der vom Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung nach Figur 6 wird nur ein Teil in einen längerwelligen Wellenlängenbereich konvertiert, so daß als Mischfarbe weißes Licht entsteht. Die verschiedenartig gestrichelten Linien 30 bis 33 von Figur 8 stellen Emissionsspektren von erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementen dar, bei denen das Epoxidharz der Vergußmasse 5 unterschiedliche YAG:Ce-Konzentrationen aufweist. Jedes Emissionsspektrum weist zwischen $\lambda = 420$ nm und $\lambda = 430$ nm, also im blauen Spektralbereich, und zwischen $\lambda = 520$ nm und $\lambda = 545$ nm, also im grünen Spektralbereich, jeweils ein Intensitätsmaximum auf, wobei die

25

30

35

Emissionsbanden mit dem längerwelligen Intensitätsmaximum zu einem großen Teil im gelben Spektralbereich liegen. Das Diagramm von Figur 12 verdeutlicht, daß bei dem erfindungsgemäßen Halbleiterbauelement auf einfache Weise durch Veränderung der Leuchtstoffkonzentration im Epoxidharz der CIE-Farbort des weißen Lichtes verändert werden kann.

Die Erläuterung der Erfindung anhand der oben beschriebenen Bauelemente ist natürlich nicht als Beschränkung der Erfindung auf diese zu betrachten. Als Halbleiterkörper, wie beispielsweise Leuchtdioden-Chips oder Laserdioden-Chips, ist beispielsweise auch eine Polymer-LED zu verstehen, die ein entsprechendes Strahlungsspektrum aussendet.

Patentansprüche

1. Wellenlängenkonvertierende Vergußmasse (5) auf der Basis eines transparenten Epoxidgießharzes, das mit einem Leuchtstoff versetzt ist, für ein elektrolumineszierendes Bauelement mit einem ultravioletten, blaues oder grünes Licht aussendenden Körper (1),
dadurch gekennzeichnet, daß im transparenten Epoxidgießharz ein anorganisches Leuchtstoffpigmentpulver mit
10 Leuchtstoffpigmenten (6) aus der Gruppe der Phosphore mit der allgemeinen Formel $A_3B_5X_{12}:M$ dispergiert ist und daß die Leuchtstoffpigmente Korngrößen $\leq 20 \mu m$ und einen mittleren Korndurchmesser $d_{50} \leq 5 \mu m$ aufweisen.
- 15 2. Vergußmasse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Leuchtstoffpigmente (6) kugelförmig oder schuppenförmig sind.
3. Vergußmasse nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere Korndurchmesser d_{50} der Leuchtstoffpigmente (6) zwischen 1 und $2 \mu m$ liegt.
20
4. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergußmasse (5) zusammengesetzt
25 ist aus:
- a) Epoxidgießharz ≥ 60 Gew%
 - b) Leuchtstoffpigmente > 0 und ≤ 25 Gew%
 - c) Thixotropiermittel > 0 und ≤ 10 Gew%
 - d) mineralischem Diffusor > 0 und ≤ 10 Gew%
 - 30 e) Verarbeitungshilfsmittel > 0 und ≤ 3 Gew%
 - f) Hydrophobiermittel > 0 und ≤ 3 Gew%
 - g) Haftvermittler > 0 und ≤ 2 Gew%.

5. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Leuchtstoffpigmente Partikel aus der Gruppe der Ce-dotierten Granate verwendet sind.
- 5 6. Vergußmasse nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Leuchtstoffpigmente YAG:Ce-Partikel verwendet sind.
- 10 7. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß deren Eisengehalt $\leq 20\text{ppm}$ ist.
8. Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Leuchtstoffpigmente (6) mit einem Silikon-Coating versehen sind.
- 15 9. Verfahren zum Herstellen einer Vergußmasse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz bei einer Temperatur $\geq 200^\circ\text{C}$ getempert wird.
- 20 10. Verfahren zum Herstellen einer Vergußmasse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz in einem höher siedenden Alkohol geschlämmt und anschließend getrocknet wird.
- 25 11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß dem Leuchtstoffpigmentpulver vor dem Vermischen mit dem Epoxidgießharz ein hydrophobierendes Silikonwachs zugegeben wird.
- 30 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Leuchtstoffpigmentpulver mit Alkoholen, Glykolethern und Silikonem im Epoxidgießharz bei erhöhten Temperaturen oberflächenmodifiziert wird.
- 35

13. Verwendung der Vergußmasse nach einem der Ansprüche 1 bis 12 in einem lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement mit einem Halbleiterkörper (1), der im Betrieb des Halbleiterbauelements elektromagnetische Strahlung aussendet
5 dadurch gekennzeichnet,
daß der Halbleiterkörper (1) eine Halbleiterschichtenfolge (7) aufweist, die geeignet ist, im Betrieb des Halbleiterbauelements elektromagnetische Strahlung aus dem ultravioletten,
10 blauen und/oder grünen Spektralbereich auszusenden,
daß die Leuchtstoffpigmente einen Teil der aus diesem Spektralbereich stammenden Strahlung in Strahlung mit größerer Wellenlänge umwandelt, derart, daß das Halbleiterbauelement Mischstrahlung, insbesondere mischfarbiges Licht, bestehend aus dieser Strahlung und aus Strahlung aus dem ultravioletten, blauen
15 und/oder grünen Spektralbereich aussendet.
14. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergußmasse zumindest einen Teil des Halbleiterkörpers (1) umschließt.
20
15. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 13 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die vom Halbleiterkörper (1) ausgesandte Strahlung im blauen Spektralbereich bei $\lambda = 430 \text{ nm}$ oder bei $\lambda = 450 \text{ nm}$ ein Lumineszenz-Intensitätsmaximum aufweist.
25
16. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbleiterkörper (1) in einer Ausnehmung (9) eines lichtundurchlässigen Grundgehäuses (8) angeordnet ist und daß die Ausnehmung (9) zumindest teilweise mit der Vergußmasse (5) gefüllt.
30

17. Lichtabstrahlendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergußmasse (5) hinsichtlich Wirtsgitter und Art und Ausmaß der Dotierung mit verschiedenartigen Leuchtstoffpigmenten (6) versehen ist.
- 5

1/4

FIG 1

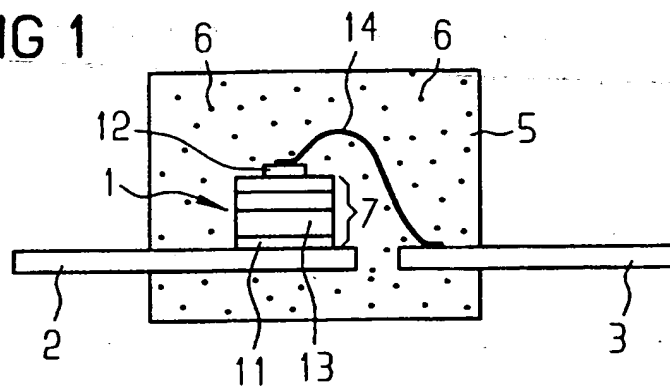


FIG 2

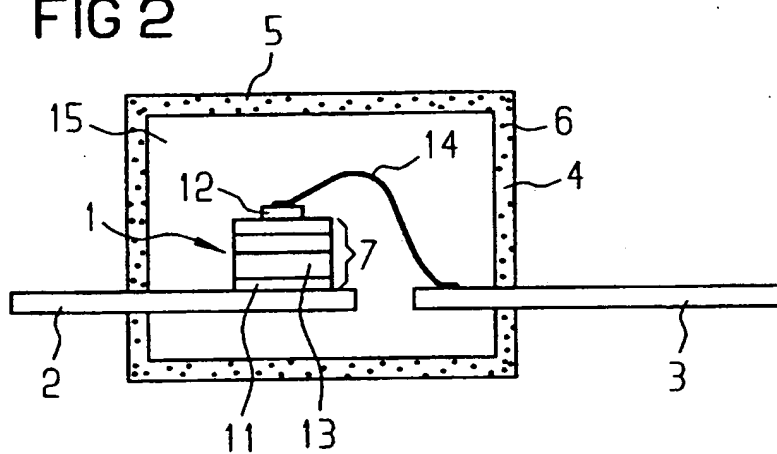
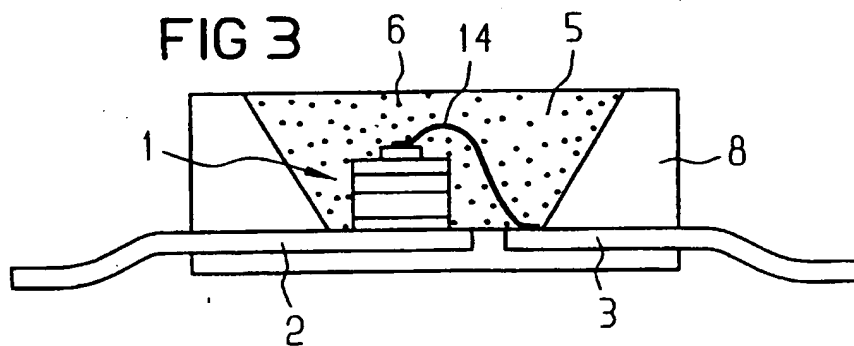


FIG 3



2/4

FIG 4

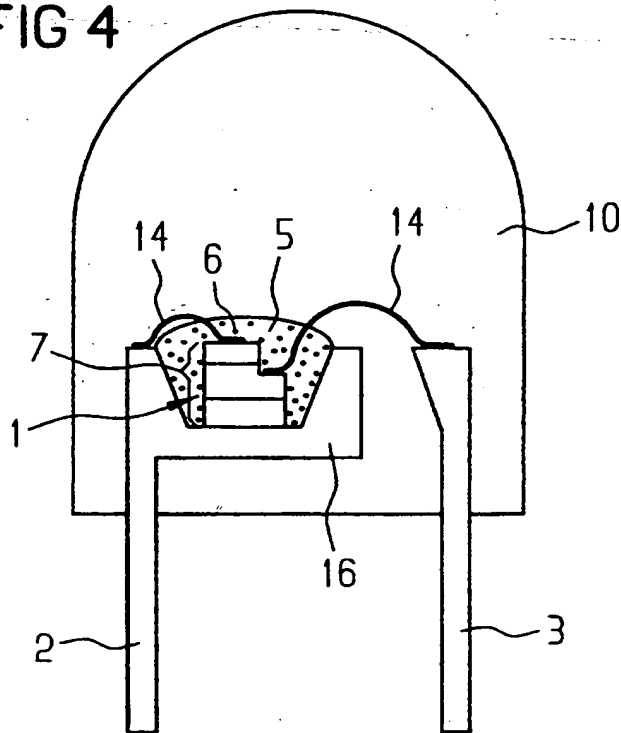
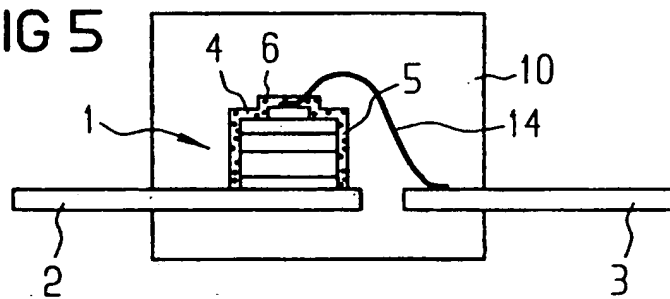
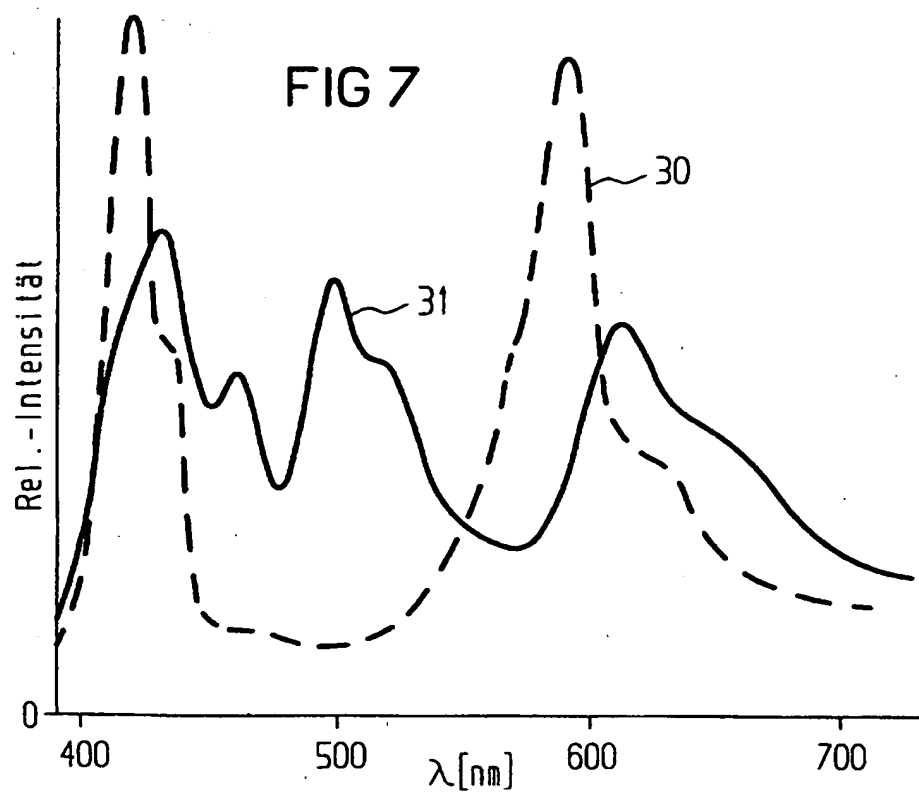
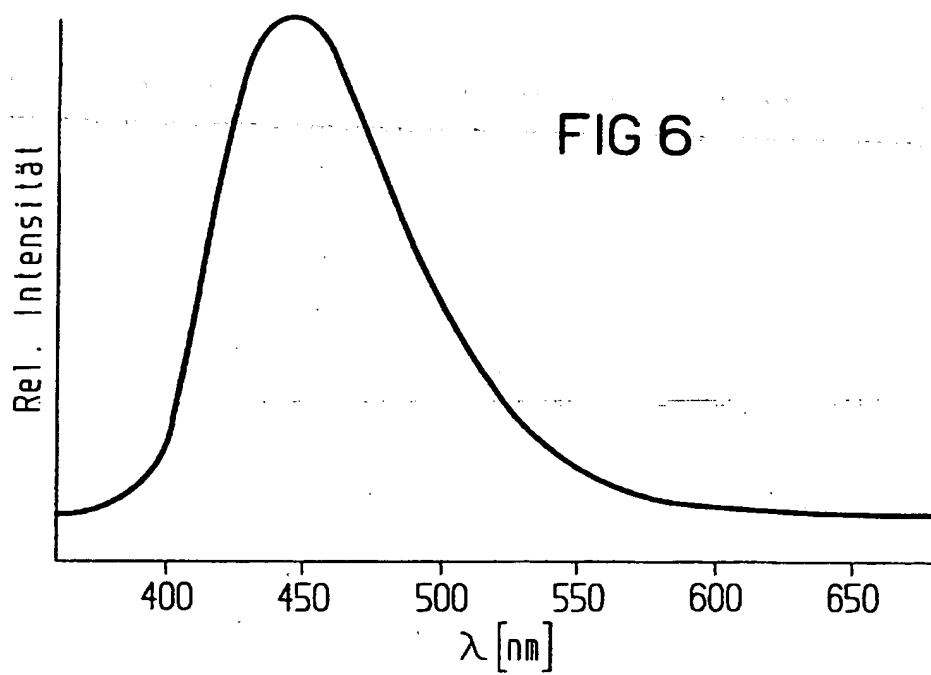


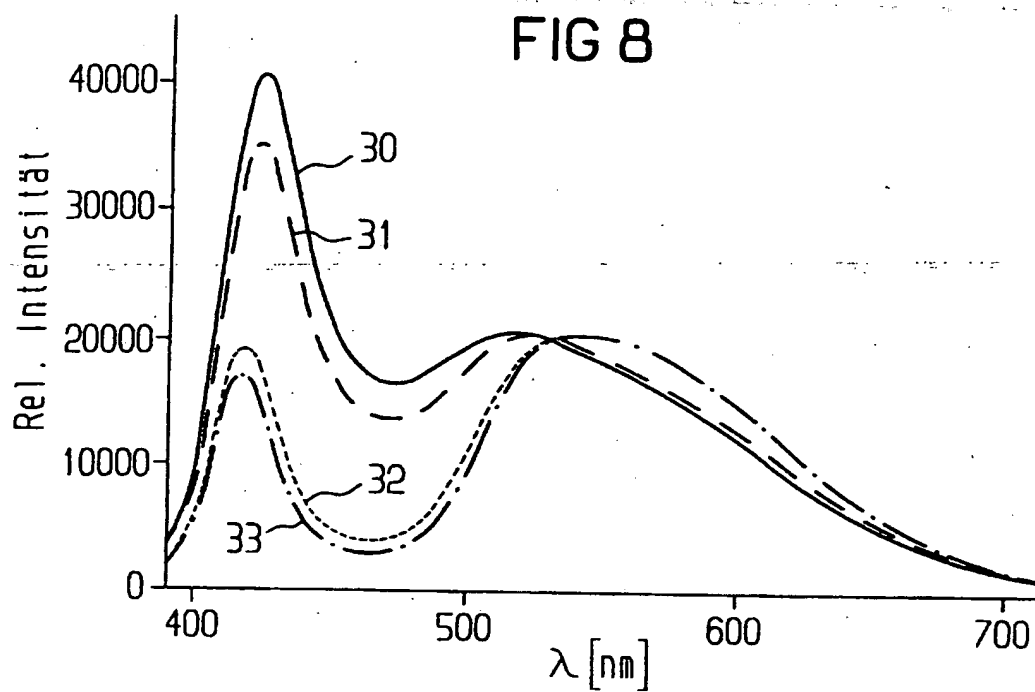
FIG 5



3/4



4/4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 97/02139

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 H01L33/00 H01S3/19

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 90 13 615 U (LICENTIA PATENT-VERWALTUNGS-GMBH) 6 December 1990 see the whole document	1, 13
A	DE 38 04 293 A (PHILIPS PATENTVERWALTUNG) 24 August 1989 cited in the application	1, 13

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

*** Special categories of cited documents :**

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "A" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 February 1998

Date of mailing of the international search report

03/03/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

De Laere, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 97/02139

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 9013615 U	06-12-90	NONE	
DE 3804293 A	24-08-89	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 97/02139

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 H01L33/00 H01S3/19

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 90 13 615 U (LICENTIA PATENT-VERWALTUNGS-GMBH) 6.Dezember 1990 siehe das ganze Dokument	1,13
A	DE 38 04 293 A (PHILIPS PATENTVERWALTUNG) 24.August 1989 in der Anmeldung erwähnt	1,13

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausleitung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Δ" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. Februar 1998

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

03/03/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

De Laere, A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 97/02139

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 9013615 U	06-12-90	KEINE	
DE 3804293 A	24-08-89	KEINE	

AOD/OSM1.3 Backside Optical Detection of Internal Gate Delays in Flip-Chip Mounted Silicon VLSI Circuits

H.K. Heinrich, N. Pakdaman, D. Kent, L. Cropp

IBM T.J. Watson Research Center

Yorktown Heights, NY

IBM General Technology Division

Hopewell Junction, NY

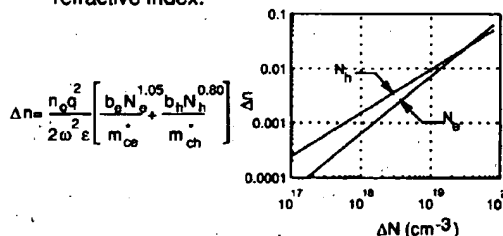
We report the first backside optical measurement of internal gate propagation delays in a flip-chip mounted silicon integrated circuit. Both the gate delays and risetimes agreed well with prior simulations. However, the measurements suggested that power supply transients were present that were not seen in the simulations

Motivation

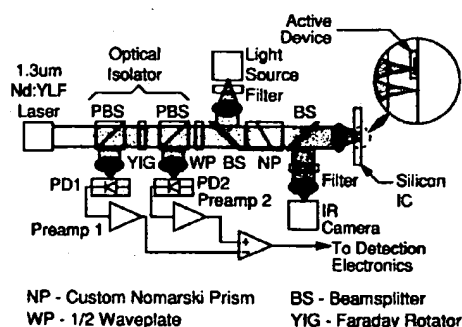
- Electrical probes have limited access in multilevel metalization circuits and probe parasitics introduce crosstalk and loading.
- Alternative noncontact probes also have limited access in multilevel metalization circuits. [1,2]
- External test points in flip-chip mounted IC's degrade circuit performance and occupy space in the package. [3]
- Picosecond noncontact backside optical measurements have previously been made in GaAs and Silicon IC's. [4,5]

Charge-Optical Interaction^[6]

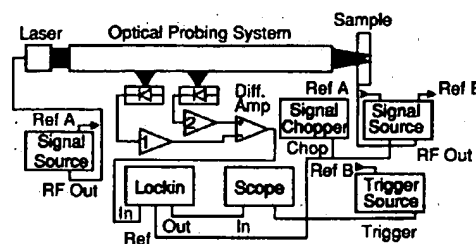
- Electrical signals within IC cause charge-density modulation within devices and parasitic pn junctions.
- Charge density variations perturb the local refractive index.



Backside Probe Optical Schematic Diagram^[7]



Optical Probing System Electrical Schematic Diagram



Optical Charge-Sensing Method for Testing and Characterizing Thin-Film Transistor Arrays

Takashi Kido, *Member, IEEE*, Nobuhito Kishi, and Hiroyuki Takahashi

(Invited Paper)

Abstract—Improved methods for testing thin-film transistor (TFT) arrays are becoming increasingly important as TFT liquid-crystal flat-panel displays become the first choice for many applications. The optical charge-sensing method for testing TFT arrays described in this paper uses interface reflections to sense accumulative free carriers and to generate maps showing the type and location of line and point defects. The method is nondestructive and provides data which can be used to repair certain types of array defects. It can also be used to measure such parameters as threshold voltage and channel conductance of TFT's, and frequency response of driver circuits. Optical charge sensing depends not only on charge density but also on the structure of the TFT arrays. Charge-sensing sensitivity is reduced by reflections from the metal interconnects. An improvement in the net reflectance change is obtained by using polarized and angled incident light in spite of reduced reflectance changes compared with normal incidence.

I. INTRODUCTION

FLAT-PANEL displays are becoming increasingly important as many audio-visual, communications, and information displays become smaller. Liquid-crystal displays (LCD's) using TFT arrays are particularly attractive because they have the potential for picture quality such as contrast, response, and brightness almost equal to that of CRT's. LCD displays also have the advantages of small size, low weight, and modest power requirements. Large TFT-LCD's have already demonstrated the full-color capability necessary for high-information-content applications. At present, the problem with TFT-LCD's is that the yield and throughput of the fabrication process of TFT arrays are so low that manufacturers have not been able to reduce costs to the level required to stimulate a large market. Yield improvement is the largest obstacle to the widespread use of TFT-LCD's. In order to increase yield and reduce costs, it is necessary to test TFT arrays and detect defects during the manufacturing process.

There are several established methods for testing and characterizing TFT arrays [1]–[10]. Mechanical probe open/short testing, forward admittance sensing [1], and charge sensing [2], [3] are conventional electrical methods which involve making up to five thousand contacts to an array. Henley and Addiego [4], [5] describe a noncontact method that uses a two-dimensional electro-optic modulator and detects the surface potential of a TFT array induced by phase modulation. The

authors propose to use voltage imaging to control the position of the modulator to within several tens of micrometers.

The technique described in this paper uses optical charge sensing as a noncontact, direct method for functional testing of TFT arrays without an electro-optic modulator. It detects the charge-induced amplitude modulation of reflected light from the surface of a TFT array. We expect that manufacturers will be able to improve TFT array yields and reduce costs by using this technique to determine the location and type of defects in arrays immediately after fabrication, so that they can repair certain types of defects. The technique can also be used to characterize TFT arrays, to verify array designs, and to perform failure analysis.

We present background information about the technique, including structures, manufacturing steps, operations, and image-degradation defects of TFT-LCD arrays and TFT-LCD's for testing and characterizing TFT arrays in Section II of this paper. Section III describes the principles of optical charge sensing. Section IV describes a test system based on these principles and provides some details about the system's performance. Sections V and VI describe the testing and characterizing capabilities of optical charge sensing. Section VII describes advantages and limitations of optical charge sensing. In Section VIII, the possible improvements of the optical charge sensing method are discussed.

II. TFT ARRAYS

A flat-panel display generally consists of a two-dimensional array of individually controlled pixels. An active matrix, TFT-LCD array has horizontal gate lines on one plane and vertical data lines on another plane. Fig. 1 shows a schematic of a typical single pixel. At each pixel, the gate of the TFT is connected to the gate line and the source is connected to the data line. The drain of the TFT is connected to a transparent pixel electrode (often indium-tin-oxide) that is isolated from the adjacent pixels. The pixel electrode charges the pixel capacitor and also an additional capacitor that reduces some of the nonlinear effects of liquid-crystal capacitance, or a storage capacitor that retains its charge during the time a frame is displayed on the screen.

Additional or storage capacitors are often fabricated on the TFT array. The second electrode of each additional capacitor is connected to the adjacent gate line, whereas the second electrodes of all storage capacitors are connected to the common line.

Manuscript received February 23, 1995; revised July 31, 1995.

The authors are with Advantest Laboratories, 48-2, Matubara, Kami-ayashi, Aoba-ku, Sendai 989-31, Japan.
IEEE Log Number 9415320.

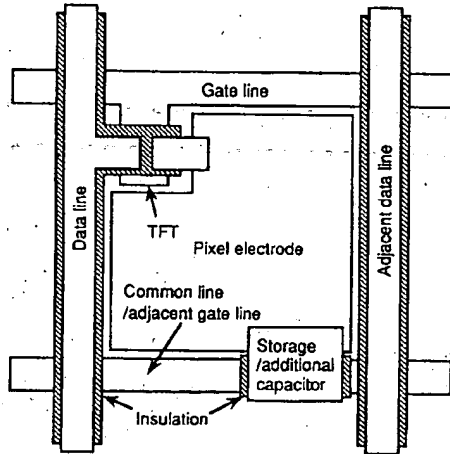


Fig. 1. Schematic of a single pixel of a TFT-LCD array.

The TFT array is fabricated on a glass substrate, the back plate, which has shorting bars connected to all gate and data lines to protect the TFT's from electrostatic damage during fabrication. These shorting bars are removed after the cell is assembled. In the case of a polysilicon TFT array, the back plate also has gate- and data-line drivers. The front plate, also glass, is coated with a transparent conductor which becomes the common electrode for all the pixel capacitors. In a color display, the front plate is coated with red, blue, and green filters over adjacent pixels, each filter separated from the next by a black matrix. The front and back plates are separated by spacers several micrometers thick, aligned, and pasted together with twisted nematic liquid crystal between them.

Ten-inch-diagonal TFT-LCD's having about one million pixels are currently being mass-produced for use as VGA displays. Fourteen-inch-diagonal TFT-LCD's having about two million pixels are also being mass-produced for use as XGA displays.

The simplified equivalent circuit for a single pixel with its additional or storage capacitor is shown in Fig. 2. Each pixel consists of a TFT and an additional or storage capacitor C_s . The TFT has an intrinsic gate capacitance C_g , a channel conductance G_{ch} , and parasitic gate-to-drain and gate-to-source capacitances C_{gd} and C_{gs} . In operation, timed pulses are applied to the gate and data lines to select individual pixels sequentially. When the TFT turns on, the data-line voltage is applied to the corresponding pixel electrode, charging the pixel and additional or storage capacitors.

Each pixel must meet minimum requirements for the display to be of acceptable quality. The channel conductance must be large enough when the transistor is on to store sufficient charge; it must be small enough when the transistor is off to prevent significant leakage from the pixel electrode to the data line. Also, the leakage in the additional or storage capacitor must be low so that charge is retained from one frame to the next. TFT parameters such as on/off channel conductances and threshold voltage must be consistent across the array to avoid erroneous charge storage and degradation of image quality.

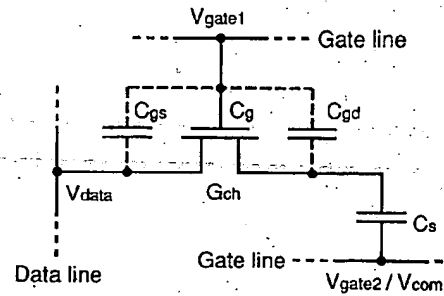


Fig. 2. Simplified pixel equivalent circuit.

Data and gate lines must also meet certain requirements because discontinuities, adjacent shorts, or crossing shorts in these lines cause image degradation. Problems in data lines result in vertical line defects; problems in gate lines show as horizontal line defects. Problems in TFT parameters and storage capacitors result in point defects.

Because all image degradation problems are caused by erroneous potentials on pixel electrodes and incorrect charges stored in the associated capacitors, it is possible to test arrays by detecting the charges stored in these capacitors under representative conditions.

III. OPTICAL CHARGE SENSING

Established optical techniques have been used to make noncontact measurements on analog and digital integrated circuits [11], [12]. These measurements have been shown to have a high spatial resolution and a bandwidth which is limited only by the device under test. This paper describes the use of these techniques as a practical method for in-process functional testing of TFT-LCD arrays.

Free carriers in semiconductor materials such as amorphous silicon, polysilicon, and indium-tin-oxide perturb the index of refraction and the optical absorption coefficient. Variations of the index of refraction, not absorption, are significant in the near infrared, where small spot-size can be achieved and sensitive optical detectors are available. The index of refraction is a function of the number of free carriers as shown by following two equations that represent the plasma-optical relationships:

$$n = n_0 \left(\frac{1 - \omega_p^2}{\omega^2} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$\omega_p^2 = \frac{q^2 N_e}{\epsilon_s m_e^*} + \frac{q^2 N_h}{\epsilon_s m_h^*} \quad (2)$$

where n is the index of refraction perturbed by free carriers for a semiconductor material, n_0 and ϵ_s are the index of refraction and the material permittivity for a nonperturbed semiconductor material, ω is the optical probe frequency, ω_p is the plasma resonant frequency, N_e and N_h are the local time-dependent free electron and hole concentrations, m_e^* and m_h^* are the carrier effective masses, and q is the elementary charge.

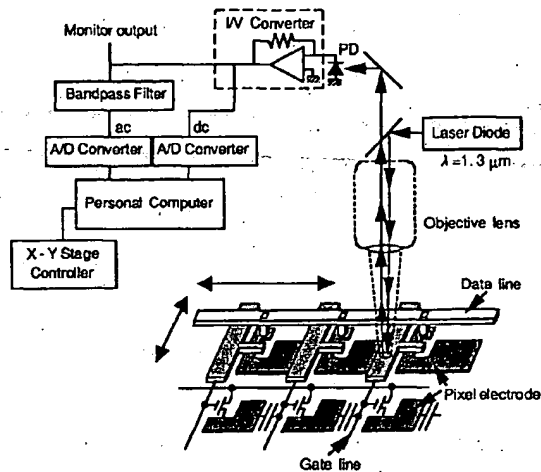


Fig. 3. Schematic diagram of a functional inspection system for TFT-LCD arrays. Here, gate lines in the array are made from a transparent film of polysilicon.

When the perturbed material is silicon, the refractive index n is defined as n_{si} . In the case of indium-tin-oxide, n is defined as n_{ITO} .

The change in reflectance at the semiconductor/insulator interface or semiconductor surface is caused by refractive-index changes in the near infrared because reflectance at normal incidence is related to the refractive indexes of the semiconductor and the insulator. Changes in the refractive index result from free-carrier modulation in the semiconductor. We can detect charge-induced amplitude modulation of reflected light from the semiconductor/insulator interface or semiconductor surface. Thus, the voltage V applied to the capacitor injects charge carriers which cause a change in the reflectance according to the relationship:

$$V = \frac{qN_s}{C'} \quad (3)$$

where N_s is given by the integral of the charge density over the space-charge layer in the semiconducting thin film and C' is the capacitance per unit area.

The ratio of the change in reflectance ΔR to the reflectance R can be measured by the basic test system, such as that shown in Fig. 3, which uses a near-infrared laser as a probe. From this ratio, we can estimate the change in charge density and the voltage applied. A 1.3- μm continuous-wave, InGaAsP semiconductor laser is used because the optical absorption coefficient of silicon at this wavelength is a minimum, yet it is possible to achieve a spot size of 2.5 μm .

In this section, a free carrier plasma is assumed to behave like a bulk plasma. We can use a model of a surface-enhanced plasma to compare experimental results with numerical calculations.

IV. TFT-LCD IN-PROCESS INSPECTION

Fig. 3 illustrates an in-process test system for TFT-LCD arrays that uses optical charge sensing. The thin-film transistor

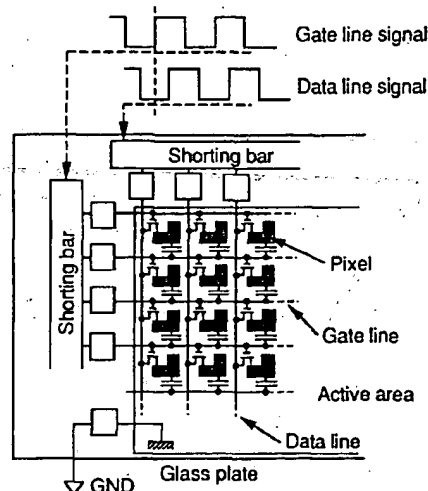


Fig. 4. Connections and voltage waveforms for a typical functional test of TFT-LCD arrays with shorting bars.

arrays being tested, shown at the bottom of the figure, have pixels, gate lines and data lines. Each pixel consists of at least one transistor and one storage capacitor. The reflectance at a storage capacitor or a TFT channel of each pixel is measured by scanning with a near-infrared InGaAsP semiconductor-laser beam and detecting the reflected light with a InGaAs p-i-n photodiode. The objective lens is about 20 mm above the surface of the array.

During testing, drive signals are applied to gate lines and data lines. When there are no drive signals, the array has a certain background reflectance. A bandpass filter separates this background reflectance from the change of reflectance caused by the array drive signals. The center-point of this bandpass filter is identical to the array driving frequency. For each pixel on the array, the background reflectance and the modulated reflectance data are stored in a personal computer and their values are used to calculate the change in charge density and pixel voltage. Subsequently, this data is used to draw a defect map. The measured reflectance change at the storage capacitor is proportional to the change of the pixel voltage and is consistent with theoretical calculations.

The system, which has a spatial resolution of approximately two micrometers (much smaller than the pixel size), can detect reflectance by data-line voltage changes of approximately 100 mV, a performance that is acceptable for in-process testing. The signal-to-noise ratio of the system is 46 dB, determined by the shot noise limit of the photo-induced current in the photodiode when the optical power detected by the photodiode is about 0.1 mW and the frequency bandwidth is 3 kHz. When the optical power is doubled, the signal-to-noise ratio is improved by 3 dB up to the ratio limited by the relative intensity noise (RIN) of the semiconductor laser. Furthermore, the signal-to-noise ratio is improved by 3 dB at the half bandwidth.

Fig. 4 shows a diagram of the typical electrical connections used when functionally testing a thin-film transistor array

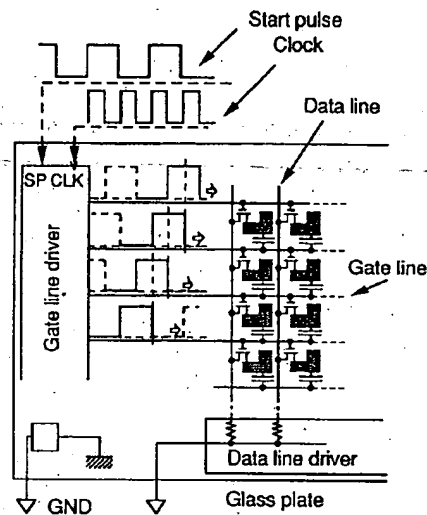


Fig. 5. Connections and voltage waveforms for a typical functional test of TFT-LCD arrays with gate- and data-line drivers.

that has shorting bars to protect the thin-film transistors from electro-static voltages during the manufacturing process. One advantage of optical charge sensing over other testing methods is that it can be used to test individual pixels while the shorting bars are still in place. Another advantage, as this diagram shows, is that relatively few electrical contacts are required. During testing, a pattern generator energizes the array by driving the shorted contacts, while a laser beam scans the pixels. One pattern generator signal is applied to all the gate lines, and another pattern generator signal with different timing is applied to all the data lines. The phase difference between these two signals is a quarter of a period.

Fig. 5 shows the connections for testing a thin-film transistor array that has gate-line and data-line drivers. Only 10 contacts are needed. The gate-line driver needs a clock signal and start pulses. In this case, the data lines are all grounded and a pattern generator drives the gate lines with different timing on each line. Each gate-line signal has the same period as the start pulses and has a timing difference of one quarter of a period. The upper part of Fig. 6 shows four pixels of a polysilicon TFT array that has gate- and data-line drivers; this array is intended for use in a viewfinder display. The measurement area of $106 \mu\text{m}$ by $101 \mu\text{m}$ is also shown in the schematic diagram of the array. The lower part of the figure shows a typical distribution of the change of reflectance for four normal pixels, each $42 \mu\text{m}$ wide and $43 \mu\text{m}$ high. During testing, the data lines are held at 0 V and the gate lines are driven between zero and 20 V.

In this example, adequate reflectance changes of 0.08% occur at the storage capacitor and TFT channel regions. The high peaks in the plot correspond to charge changes in the storage capacitor regions and the low peaks correspond to charge changes in the gate capacitance of the TFT channel regions. We find that there are no detectable reflectance changes from regions of the pixel electrodes other than the storage capacitor regions. Similar reflectance changes occur at each pixel.

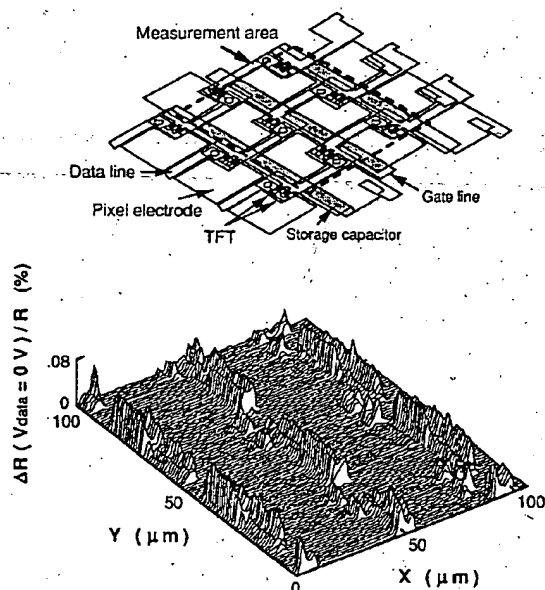


Fig. 6. Plot of reflectance changes in four normal pixels of a polysilicon TFT-LCD array. The measurement area is also shown in the schematic diagram of an array above the plot.

Fig. 7 compares reflectance changes from a normal pixel with those from a defective pixel under the conditions described in the previous example. The upper trace in the graph (a) shows the reflectance changes for a normal pixel. The upper trace in the graph (b) shows the reflectance changes for a defective pixel in which the thin-film transistor's source and drain are shorted. In both graphs, the lower trace shows the 40-kHz clock signal applied to the gate driver. The square wave produced by the reflectance changes of the defective pixel is induced from the signal on the gate line, and has the same period as the 20-kHz start pulses applied to the gate driver.

The chart shown in Fig. 7(c) lists the frequency components of the reflectance changes from a normal pixel, a defective pixel with source and drain shorted, and a defective pixel with the gate line open. All of the frequency components are normalized by the 20-kHz component of the reflectance changes from the normal pixel. As you can see, we can easily distinguish between normal and defective pixels by examining the waveforms or frequency spectrums of the reflectance changes.

V. FAULT DETECTION

The computer-printed defect map shown in Fig. 8 was obtained by testing a 2/3-in-diagonal polysilicon TFT array intended for use in a viewfinder display. This map was created from the start pulse frequency components of the reflectance changes, using the same conditions as in Section IV. The map shows all 74240 pixels in the array. The bar below the map indicates the relative values of the reflectance changes at the start pulse frequency.

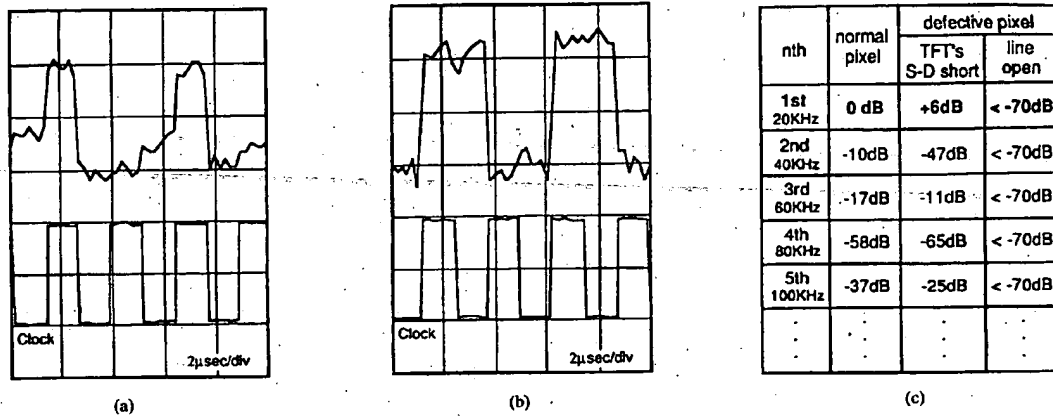


Fig. 7. Comparison of the reflectance changes from a normal pixel with those from a defective pixel. The chart lists the frequency components of the reflectance changes from a normal pixel, a defective pixel with source and drain shorted, and a defective pixel with the gate line open: (a) normal pixel; (b) defective pixel (TFT's S-D short); and (c) frequency components ($f_{CK} = 40$ kHz, $f_{SP} = 20$ kHz).

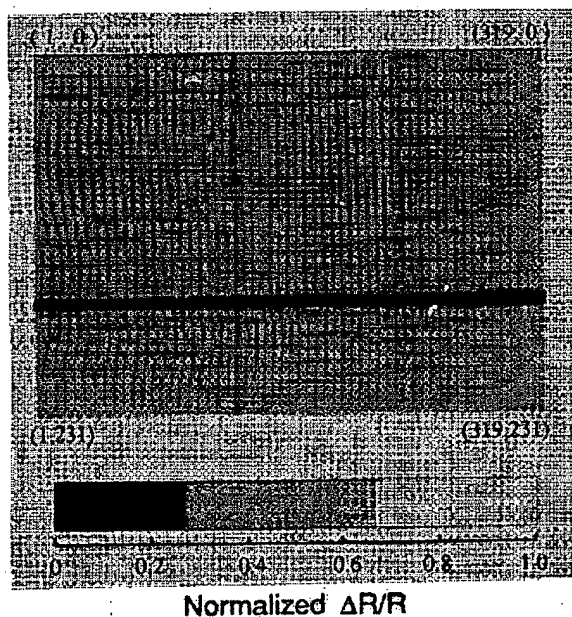


Fig. 8. Defect map of a 2/3-in 74 240-pixel TFT-LCD array. The gray-scale bar below the map denotes normalized reflectance change.

The defect map directly shows defect locations and types:

- 1) **Black** indicates pixels with lower reflectance changes due to open or shorted gate or data lines; these are line defects.
- 2) **White** indicates pixels that have excessive reflectance changes at the start pulse frequency due to shorted sources and drains in thin-film transistors and pixel-to-pixel shorts; these are point defects.
- 3) **Gray** indicates pixels with normal reflectance changes; these are good pixels.

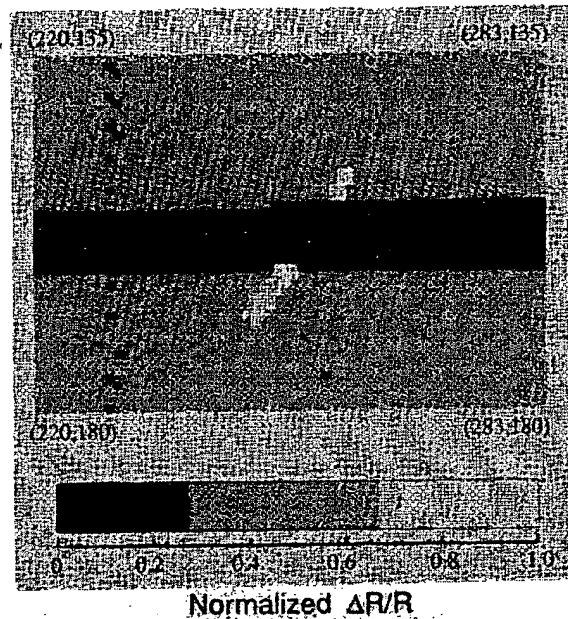


Fig. 9. Enlarged defect map of the same array as that in Fig. 8, showing an area of 63 by 45 pixels.

The map displays a direct representation of defect types and locations. It is easy to distinguish between line and point defects by displaying this map. This defect data can be used for process monitoring, which may contribute to yield improvements. It is possible to detect other types of defects by varying the drive conditions.

Fig. 9 shows an enlarged portion of a defect map and Fig. 10 shows an optical microscope photograph of the corresponding area of the array. The area shown in this map is 63 pixels horizontally and 45 pixels vertically.

The defect map shows some line defects and point defects. Comparing the map with the photograph, we can see that the

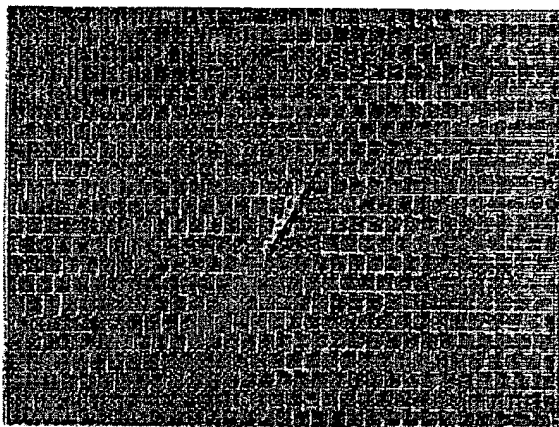


Fig. 10. Optical microscope photograph of the area mapped in Fig. 9.

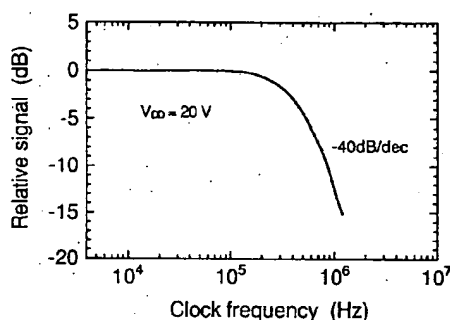


Fig. 11. Frequency response of a polysilicon TFT-LCD array with gate-line and data-line drivers under similar drive conditions.

map accurately relates faulty pixels to a scratch on the surface of the array. This demonstrates that optical charge sensing is an effective means of detecting faulty pixels.

VI. PARAMETER MEASUREMENTS

This optical charge-sensing technique is useful for characterizing arrays as well as for in-process testing. It provides a way to measure such parameters as threshold voltage, channel conductance, storage capacitance, driver-circuit cut-off frequency, and other important parameters. Fig. 11, for example, shows the frequency response of a polysilicon TFT array with the gate-line and data-line drivers switching between the same levels, measured by this method. This result, detected from a normal pixel, demonstrates the array's dynamic characteristics, including the gate-line driver and thin-film transistor cut-off frequency. It also shows that the relative signal is constant up to about 100 kHz, but decreases rapidly at higher frequencies. By measuring with mechanical probes, we found that this response is caused by the cut-off frequency of the gate-line driver circuit.

Fig. 12 shows another example of parameter measurements. The upper part of the figure compares the drain current (solid curve) with the ratio of change in reflectance to reflectance at a storage capacitor (dashed curve) for one pixel of a

TABLE I
COMPARISON OF OPTICAL CHARGE SENSING WITH VOLTAGE IMAGING

	Optical Charge Sensing	Voltage Imaging
Senses	Charge density at storage capacitors or TFT channels	Potential on pixel electrodes, gate lines, and data lines
External modulator	Not needed	Required in close proximity
Z-axis margin	More than 1 millimeter	Within a few ten micrometers
Light source	Near infrared	Visible
Size of detectable area typical (μm)	15 x 60 (Storage capacitor) 15 x 12 (TFT channel)	200 x 60 (pixel)
Spatial resolution	2 μm (approx)	20 μm (approx)
Optics	Light source, objective lens half mirror, detector	Light source, polarizer, lens analyzer, detector

3-in-diagonal amorphous-silicon TFT array. This array has common lines and is intended for use in a color AV monitor. Both parameters are shown as functions of gate-line voltage. The drain current is a static characteristic and is shown for a data-line level at 15 v. The reflectance change is a dynamic characteristic and is shown with the data line switching between zero and 15 v. The graph shows that both parameters depend on the gate-line voltage in a similar manner.

This graph indicates that the reflectance change depends, not only on storage capacitance, but also on the channel conductance of the thin-film transistors. The lower part of Fig. 12 shows the relationship between the ratio of change of reflectance to reflectance at a storage capacitor and the data-line voltage for various gate voltages. The threshold voltage of the thin-film transistor can be estimated from the intersection of the slopes. In this case, the threshold voltage is estimated to be about 2.5 V. Similar measurements can be made for many individual pixels. These results can be used for statistical quality control.

VII. ADVANTAGES AND LIMITATIONS OF OPTICAL CHARGE SENSING

The preceding description of optical charge sensing has shown that the technique has a number of advantages. These include the ability to accurately detect faults and to characterize arrays. In particular, we believe optical charge sensing has important advantages over voltage imaging.

Table I compares optical charge sensing with voltage imaging. For example, optical charge sensing doesn't require any external modulator. Also, the objective lens can be ten millimeters or more above the array surface, whereas voltage imaging requires an electro-optic modulator that must be within a few tens of micrometers above the array surface. The spatial resolution of optical charge sensing is approximately 2 μm , about ten times better than that of voltage imaging. The optics required for optical charge sensing are simpler than those required for voltage imaging.

Despite its advantages, optical charge sensing has the following limitations:

- 1) Optical charge sensing depends not only on charge density but also on the structure of the array. Charge-

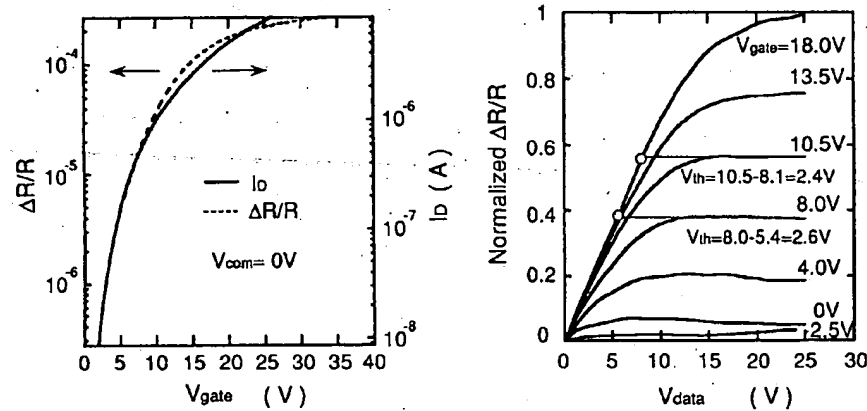


Fig. 12. Characteristics of an amorphous-silicon TFT-LCD array: (a) I_D (solid line) and $\Delta R/R$ (dotted line) versus V_{gate} and (b) normalized $\Delta R/R$ versus V_{data} . The threshold voltage V_{th} of the TFT is estimated from the intersection of the slopes.

sensing sensitivity is reduced by reflections from the metal interconnects on the surface of the array. In some cases we can, at least partly, solve this problem by choosing an angle other than vertical for the optics.

- 2) In the future, TFT-LCD arrays may not need storage capacitors. Optical charge sensing cannot test arrays without storage capacitors because gate-line voltages do not turn on TFT's sufficiently.
- 3) When the storage capacitor has a light guard or shield, the method may not be practical because the TFT channel area is too small to detect in high-throughput situations.
- 4) There may be a problem with detection of multiple reflectance changes when using optical charge sensing at high speed for production testing. At present, the time taken to test a 3-in-diagonal color TFT-LCD array is less than one minute. A typical go/no-go test with currently used inspection methods to determine defect locations for a 10-in-diagonal VGA full-color array also takes less than one minute. It may be possible to solve this problem by using laser-diode and photo-diode arrays.

We are currently investigating techniques for improving optical charge sensing to achieve higher levels of performance.

VIII. IMPROVED OPTICAL CHARGE SENSING METHOD

One example of an improved method of optical charge sensing is presented here. This method uses polarized and angled incident light as shown in Fig. 13. There are three main types of reflection from the surface of the thin-film transistor array. These are reflections from the indium-tin-oxide, from the insulator, and from the metal interconnects. By using polarized light at a suitable angle, it is possible to minimize the effect of undesirable reflections and to improve the detected net reflectance change.

Fig. 14 shows how the reflectance changes at a storage capacitor of a 3-in-diagonal amorphous-silicon TFT array depend on the polarization and angle of the incident light. In

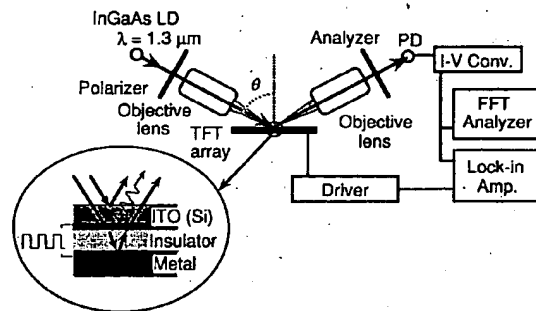


Fig. 13. Schematic diagram improved optical charge-sensing method using polarized and angled incident light.

graph (a), the horizontal axis of the graph represents incident angles and the vertical axis represents reflectance changes. In graph (b), the horizontal axis represents incident angles and the vertical axis represents reflection powers. The open circles on the graphs represent data when the polarization vector is parallel to the incident plane. The filled circles represent data when the polarization vector is perpendicular to the incident plane. When the polarization is perpendicular to the incident plane, the reflectance change peaks and the reflection power minimizes at an incident angle of about 75° . The change improves up to 0.08% in spite of the reduction of reflectance change due to undesirable reflections at normal incidence. This improvement is probably due to interference and compensation of two reflected lights from the metal interconnects and the surface of the indium-tin-oxide layer.

In the structure of a typical TFT array, it seems that the thickness between the surface and metal layer (see Fig. 13) is about $1 \mu\text{m}$. Therefore, it may be possible to use the interference of the main reflected lights from these two interfaces in inverse phases by the angled incident beam of near infrared light. In this case the expected sensitivity is at most 0.1% expected in the undesirable reflection free condition from metal. We think that, in spite of variations in device parameters

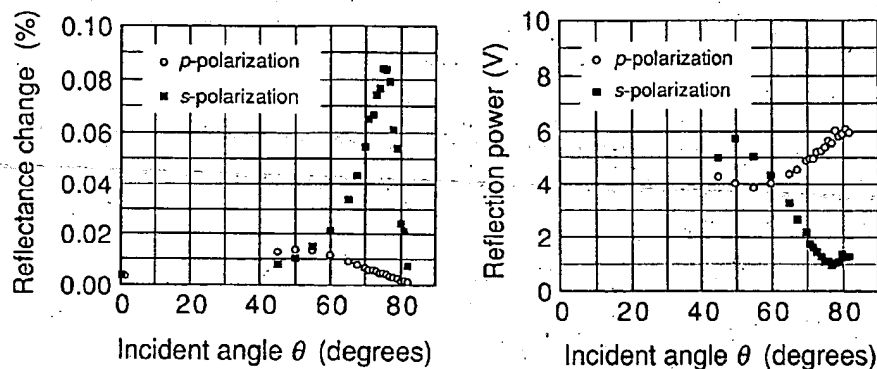


Fig. 14. Incident angle and polarization dependencies: (a) reflectance change and (b) reflection power at a storage capacitor of an amorphous-silicon TFT-LCD array.

such as the thickness of dielectric layer or the kind of metal, we can obtain the same effect by optimizing the angle and wave length of the probe light beam.

IX. CONCLUSION

The low yield of the TFT-LCD manufacturing process is a crucial and challenging problem. One way to improve the yield is to inspect arrays before they are sealed and to repair defects. The in-process inspection system presented in this paper can be used for this purpose.

The optical charge-sensing method can be used to estimate the changes in charge density and pixel voltage by using near-infrared light to detect reflectance changes. The method works in real time, not by sampling. The method accurately identifies the location of faulty pixels, and shows various types of line and point defects. It is possible to sort arrays into those with no faults, those with repairable faults, and those that are not repairable without intrusive probing. Optical charge sensing can be used to measure several parameters of thin-film transistor arrays as well as individual transistor parameters. Optical charge sensing depends not only on charge density but also on the structure of the TFT arrays.

Charge-sensing sensitivity is reduced by reflections from the metal interconnects. An improvement of the net reflectance change is obtained by using polarized and angled incident light in spite of reduction of reflectance change at normal incidence, probably due to interference and compensation of two reflected lights from the metal interconnects and the indium-tin-oxide layer. There may be a problem with detection of multiple reflectance changes when using optical charge sensing at high speed for production testing.

We are currently improving the technique to achieve higher levels of performance. We are convinced that this method will help array manufacturers to improve their yields and reduce their costs.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Dr. Y. Maeda, Manager of Advantest Laboratories, Ltd. and G. Padwick for his help with the manuscript.

REFERENCES

- [1] H. P. Hall and P. R. Pilotte, "Testing TFT/LCD substrates with a transfer admittance method," *SID Int. Symp. Dig. Tech. Papers*, pp. 682-686, 1991.
- [2] R. Wisniewski, L. Jenkins, R. Polastre, and R. Troutman, "In-process testing of thin-film transistor arrays," *SID Int. Symp. Dig. Tech. Papers*, pp. 190-193, 1990.
- [3] R. R. Troutman, L. C. Jenkins, R. J. Polastre, and R. L. Wisniewski, "Characterization of TFT/LCD arrays," in *Proc. 11th Int. Display Res. Conf.*, 1991, pp. 231-234.
- [4] F. J. Henley and G. Addiego, "In-line functional inspection and repair methodology during LCD panel fabrication," *SID Int. Symp. Dig. Tech. Papers*, pp. 686-688, 1991.
- [5] F. J. Henley, "Active/simple matrix LCD test, repair, and inspection," in *Proc. 12th Int. Display Res. Conf.*, 1992, pp. 795-798.
- [6] T. Kido, "In-process inspection technique for active-matrix LCD panels," in *Proc. Int. Test Conf.*, 1992, pp. 795-799.
- [7] —, "In-process functional inspection technique for active-matrix LCD panels," in *Proc. 12th Int. Display Res. Conf.*, 1992, pp. 333-336, 1992.
- [8] —, "In-process functional inspection technique for active-matrix LCD panels," *J. Inst. Television Eng. Japan*, vol. 47, no. 5, pp. 643-648, 1993.
- [9] —, "In-process functional inspection technique for TFT-LCD arrays," *J. Soc. Inform. Display*, vol. 1, no. 4, pp. 429-435, 1993.
- [10] —, "Optical charge-sensing method for testing of thin-film transistor arrays" in *Proc. 7th Annual Meeting IEEE LEOS*, 1994, vol. 2, pp. 9-10.
- [11] H. K. Heinrich, D. M. Bloom, and B. R. Ilemenway, "Noninvasive sheet charge density probe for integrated silicon devices," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 48, pp. 1066-1068, 1986.
- [12] K. J. Weingarten, M. J. W. Rodwell, and D. M. Bloom, "Picosecond optical sampling of GaAs integrated circuits," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 24, pp. 198-220, 1988.



Takashi Kido (M'94) received the B.E., M.E., and D.E. degrees from Tohoku University, Sendai, Japan, in 1983, 1985, and 1988, respectively, all in electronics engineering. His doctoral thesis was concerned with MOS devices, including thin insulating films, semiconductor/insulator interfaces, and carrier transport.

He joined Advantest Laboratories Limited in 1988, where he has been engaged in research on optical and electro-optical measurements for semiconductor devices.

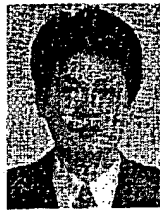
Dr. Kido is a member of the IEEE LEOS, the Japan Society of Applied Physics, and the Institute of Electronics, Information, and Communication Engineers of Japan.



Nobuhito Kishi was born in Sendai, Japan, in 1964. He received the B.S. degree in physics and the M.E. degree in applied physics from Hokkaido University, Sapporo, Japan, in 1987, and 1990, respectively.

In 1990, he joined Advantest Laboratories Limited, where he has been engaged in research on electrical and optical measurements.

Mr. Kishi is a member of the Institute of Electronics, Information, and Communication Engineers (IEICE) of Japan.



Hiroynki Takahashi was born in Niigata, Japan, in 1964. He received the B.E. and the M.E. degrees in electronics engineering from Akita University, Akita, Japan, in 1989, and 1991, respectively.

In 1991, he joined Advantest Laboratories Limited, where he has been engaged in research on optical and electrical measurements and digital signal processing.